

**ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA
PARA EL MUNICIPIO DE TÁMESIS, EN EL ÁREA RURAL A
ESCALA 1:25.000 Y EN EL ÁREA URBANA A ESCALA 1:2.000**

PROYECTO DE GRADO

Para optar por el título de Geóloga

Autor:

YADIRIS ANDREA GUISAO GRANDA

Asesor:

MARCO FIDEL GAMBOA

MEDELLÍN

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA

UNIVERSIDAD EAFIT

2015

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi asesor Marco Gamboa y su grupo, por sus conocimientos, compromiso, dedicación, paciencia, manera de trabajar y motivación. A mi familia por brindarme su todo su apoyo y comprensión, por darme fuerza cada vez que sentí caer.

Dedico de manera especial toda a la universidad, que me dio la bienvenida al mundo como tal, las oportunidades que me ha brindado son inmensas , y antes de todo esto ni pensaba que fuera posible que algún día me encontrara con alguna de ellas, en general a toda la comunidad EAFIT que contribuyeron con este proceso, a los docentes que en cada uno de sus discursos afianzaron mis conocimientos; a Gloria María Sierra por su constante interés en el desarrollo del proceso, a mis compañeros que durante todo la carrera fueron de un gran apoyo, en especial a “Las Niñas”, Leidy, Juliana, Mariana, Milena, Diana, Ana María y Laura; a Wilton y María Isabel que me brindaron muchos recursos de manera amable para el desarrollo del proyecto. Agradezco a Ana Zapata, Ana Yepes y a Martica, por todas sus buenas energías. Agradezco al municipio de Támesis, por su acogida durante el trabajo de campo.

LOS QUIERO.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| JUSTIFICACIÓN..... | 2 |
| OBJETIVO GENERAL | 3 |
| Objetivos específicos: | 3 |
| 1. CONCEPTUALIZACIÓN | 4 |
| 1.1 CONCEPTOS BÁSICOS | 4 |
| 1.1.1. Zonificación:..... | 4 |
| 1.1.2. Amenaza:..... | 4 |
| 1.1.3. Detonante | 4 |
| 1.1.4. Susceptibilidad de Deslizamiento | 4 |
| 1.1.5. Inventario y catálogo de movimientos en masa: | 4 |
| 1.3 MÉTODOS DE ZONIFICACIÓN | 7 |
| 1.3.1. Método Heurístico | 7 |
| 1.3.2. Método Estadístico | 7 |
| 1.3.3. Método Determinístico | 8 |
| 1.3.4. Métodos Estocásticos | 9 |
| 2. METODOLOGÍA | 10 |
| 2.1. REVISIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA | 11 |
| 2.2. INTERPRETACIÓN DE SENSORES REMOTOS | 11 |
| 2.2.1. Base cartográfica | 11 |
| 2.2.2. Modelo de elevación digital:..... | 12 |
| 2.2.3. Sensores remotos:..... | 14 |
| 2.3. TRABAJO DE CAMPO | 17 |
| 2.4. TRABAJO DE OFICINA..... | 17 |
| 3. GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO | 19 |
| 3.1. LOCALIZACIÓN..... | 19 |
| 3.2. CLIMA..... | 20 |
| 3.3. SUELOS | 21 |
| 3.4. GEOLOGÍA REGIONAL | 24 |
| 3.4.1. Geología Estructural | 25 |
| 3.5. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL | 25 |
| 3.5.1. Cañón del Río Cauca – San Juan (C1):..... | 26 |
| 3.5.2. Planicie de Origen Volcánico de Combia (Pvc):..... | 26 |
| 4. VARIABLES PARA LA ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA DEL SUELO RURAL..... | 28 |
| 4.1. GEOLOGÍA RURAL..... | 28 |
| 4.1.1. Stock de Támesis (Kdt)..... | 28 |
| 4.1.2. Formación Amagá (Tos) | 30 |
| 4.1.3. Formación Combia (Tmc) | 33 |
| 4.1.4. Pórfidos andesíticos hornbléndicos (Tadh)..... | 37 |
| 4.1.5. Depósitos Cuaternarios | 38 |
| 4.2. VARIABLES MORFOMÉTRICAS | 42 |
| 4.2.1. Pendientes | 42 |
| 4.2.2. Rugosidad..... | 44 |
| 4.2.3. Curvatura | 46 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 4.2.4. | Relieve relativo | 48 |
| 4.3. | GEOMORFOLOGÍA RURAL..... | 51 |
| 4.3.1. | Cañón del Rio Cauca - San Juan (C1)..... | 52 |
| 4.3.2. | Planicie de origen volcánico de Combia (PVC)..... | 68 |
| 4.4. | COBERTURA DEL SUELO | 78 |
| 4.4.1. | Bosque Nativo:..... | 79 |
| 4.4.2. | Bosque Plantado..... | 79 |
| 4.4.3. | Rastrojo alto y bajo | 80 |
| 4.4.4. | Pastos nativos no manejados | 80 |
| 4.4.5. | Pastos manejados y mejorados | 80 |
| 4.4.6. | Árboles frutales (Cultivos):..... | 80 |
| 4.4.7. | Bosque de Galería | 81 |
| 4.4.8. | Cultivos de Café:..... | 81 |
| 4.4.9. | Cultivos de Caña..... | 81 |
| 4.4.10. | Cultivos de Cacao:..... | 81 |
| 4.4.11. | Parcelaciones: | 82 |
| 4.4.12. | Lagos y lagunas..... | 82 |
| 4.4.13. | Suelos erosionados (Canteras):..... | 82 |
| 4.4.14. | Cobertura construida: | 83 |
| 4.5. | MORFODINÁMICA | 83 |
| 5. | SUSCEPTIBILIDAD DEL SUELO RURAL..... | 90 |
| 5.1. | SUSCEPTIBILIDAD ALTA | 92 |
| 5.2. | SUSCEPTIBILIDAD MEDIA..... | 92 |
| 5.3. | SUSCEPTIBILIDAD BAJA | 93 |
| 6. | AMENAZA PARA EL SUELO RURAL | 95 |
| 6.1. | DETONANTE LLUVIA | 95 |
| 6.2. | DETONANTE SÍSMICO..... | 96 |
| 6.3. | ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA..... | 98 |
| 6.4. | AMENAZA ALTA..... | 103 |
| 6.5. | AMENAZA MEDIA | 103 |
| 6.5. | AMENAZA BAJA..... | 103 |
| 7. | VARIABLES PARA LA ZONIFICACIÓN DEL SUELO URBANO | 105 |
| 7.1. | GEOLOGÍA Y FORMACIONES SUPERFICIALES..... | 105 |
| 7.1.1. | Formación Combia (Tmc). | 106 |
| 7.1.2. | Depósitos Aluviales (Qal):..... | 106 |
| 7.1.3. | Depósitos de Vertiente (Qv):..... | 106 |
| 7.2. | GEOMORFOLOGIA..... | 109 |
| 7.2.1. | Cima (C1-IV_Dc):..... | 111 |
| 7.2.2. | Escarpe de erosión menor (C1-IV_Deeme):..... | 111 |
| 7.2.3. | Ladera erosiva (C1-IV_Del): | 112 |
| 7.2.4. | Ladera ondulada (C1-IV_Dlo): | 114 |
| 7.2.4. | Superficie de explanación (C1-IV_Ase): | 117 |
| 7.3. | PROCESOS MORFODINÁMICOS | 118 |
| 8. | AMENAZA PARA EL SUELO URBANO | 122 |
| 8.1. | AMENAZA ALTA..... | 125 |
| 8.2. | AMENAZA MEDIA | 125 |
| 8.3. | AMENAZA BAJA..... | 125 |
| 9. | CONCLUSIONES | 126 |

| | | |
|-----|-----------------------|-----|
| 10. | RECOMENDACIONES | 129 |
| | REFERENCIAS | 132 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 1. | Calculo W_i , Tomado de CORANTIOQUIA-EAFIT (2015 ^a) | 8 |
| Figura 2. | Cuadro metodológico para la elaboración del mapa de amenazas por movimientos en masa para el municipio de Támesis | 10 |
| Figura 3. | Cartografía básica para el municipio de Támesis, escala 1:25.000 | 12 |
| Figura 4. | Modelo de elevación digital del terreno (DEM) para el municipio de Támesis, escala 1:25.000 | 13 |
| Figura 5. | Modelo de sombras para el municipio de Támesis, escala 1:25.000 | 14 |
| Figura 6. | Ortofotografía para el área rural del municipio de Támesis, escala 1:10.000 | 15 |
| Figura 7. | Ortofotografía para el área urbana del municipio de Támesis, escala 1:2.000 | 15 |
| Figura 8. | Cubrimiento de Google Earth para el municipio de Támesis | 16 |
| Figura 9. | Fotografía aérea para el municipio de Támesis | 16 |
| Figura 10. | Imagen RapidEye para el municipio de Támesis | 17 |
| Figura 11. | Mapa de localización del Municipio de Támesis | 19 |
| Figura 12. | Mapa de zonas de vida del Municipio de Támesis (Tomado y modificado del EOT, 1999) | 20 |
| Figura 13. | Mapa de suelos del Municipio de Támesis (Tomado y modificado del EOT, 1999) | 22 |
| Figura 14. | Mapa geológico regional para el municipio de Támesis. Tomado de las planchas 166 – Jericó y 186- Riosucio, Escala 1:100.000 (INGEOMINAS, 1980 ^a y 1980 ^b) | 24 |
| Figura 15. | Unidades de relieve y macrounidades para el municipio de Támesis. Tomado de CORANTIOQUIA, 2002 | 27 |
| Figura 16. | Mapa geológico de la zona rural del municipio de Támesis. Tomado y modificado de las planchas 166 – Jericó y 186- Riosucio, Escala 1:100.000 (INGEOMINAS, 1980 ^a y 1980 ^b) | 28 |
| Figura 17. | Antigua cantera de arena del Stock de Támesis en la vía Támesis – Río Frío | 29 |
| Figura 18. | Afloramiento de la Formación Amagá miembro superior en la vía Pescadero – Támesis, en la margen izquierda | 31 |
| Figura 19. | Afloramiento del Miembro Superior de la Formación Amagá en el lecho de la quebrada La Peinada en la vía Pescadero – Támesis | 32 |

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 20. | Afloramiento del perfil de meteorización de la formación Amaga en la vía Pescadero – Támesis..... | 32 |
| Figura 21. | Cantera en la vía hacia San Pablo en la margen norte de la Quebrada La Negra | 34 |
| Figura 22. | Aglomerados en la vereda San Luis. | 35 |
| Figura 23. | Suelo residual en la vereda El Tacón. | 35 |
| Figura 24. | Bloques redondeados en saprolito de la Formación Combia en la vía Támesis –Río Frío, en la vereda Río Frío..... | 36 |
| Figura 25. | Suelo residual en la vereda Cedeño bajo | 37 |
| Figura 26. | Afloramiento de derrames volcánicos en estado de alteración en la vereda Nudillales. | 37 |
| Figura 27. | Bloques de los Pórfidos andesíticos hornbléndicos en las márgenes de la quebrada San Antonio al occidente de la cabecera municipal. 38 | |
| Figura 28. | Llanura de inundación del Río Frío (margen izquierda) en la vereda Río Frío..... | 39 |
| Figura 29. | Depósitos aluvioterrenciales en la Quebrada Támesis, al sur de la cabecera municipal. | 39 |
| Figura 30. | Depósitos de flujo de escombros en la cabecera municipal con bloques de pórfidos andesíticos..... | 40 |
| Figura 31. | Flujo de escombros en la vía Támesis - San Pablo..... | 41 |
| Figura 32. | Depósitos de vertiente con bloques de aglomerados de la formación Combia en la vereda Pescadero, margen izquierda de la vía..... | 41 |
| Figura 33. | Depósitos de vertiente formando un abanico, al norte del corregimiento de Palermo en la Vereda La Oculta. | 42 |
| Figura 34. | Mapa de pendientes para el municipio de Támesis. | 44 |
| Figura 35. | Mapa de rugosidad para el municipio de Támesis..... | 46 |
| Figura 36. | Mapa de curvatura del terreno para el municipio de Támesis. | 48 |
| Figura 37. | Mapa de relieve relativo para el municipio de Támesis. | 50 |
| Figura 38. | Mapa geomorfológico rural para el municipio de Támesis. Escala 1:25.000..... | 52 |
| Figura 39. | Cerro remanente o relicto al sureste de la cabecera municipal. | 53 |
| Figura 40. | Cima al sureste de la cabecera municipal. | 53 |
| Figura 41. | Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión al noreste del corregimiento de Palermo. a) Modelo de sombras con la delimitación de la unidad. b) Imagen de la unidad tomada de Google Earth. | 54 |
| Figura 42. | Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional. a) Mapa de pendientes con la delimitación de la unidad. b) Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional al sureste de la cabecera municipal. | 54 |

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 43. | Escarpe de erosión mayor al occidente de la cabecera municipal. | 55 |
| Figura 44. | Escarpe de erosión mayor disectado al norte de la cabecera municipal..... | 55 |
| Figura 45. | Escarpe faceteado en la vereda La Alacena. | 56 |
| Figura 46. | a) Ladera ondulada de longitud media. b) Imagen de la unidad tomada de Google Earth | 56 |
| Figura 47. | Ladera ondulada de longitud larga. A) Modelo de sombras con la delimitación de la unidad. b) Ladera ondulada larga al oriente de la cabecera municipal. | 57 |
| Figura 48. | Ladera ondulada de pendiente moderada. a) Mapa de pendientes con la delimitación de la unidad. b) Ladera ondulada de pendiente moderada al suroriente del corregimiento de Palermo | 57 |
| Figura 49. | Ladera ondulada de pendiente suave. a) Mapa de pendientes con la delimitación de la unidad. b) Ladera ondulada de pendiente suave al norte de la cabecera municipal. | 58 |
| Figura 50. | Ladera erosiva. a) Mapa de pendientes con la delimitación de ladera erosiva de longitud media. b) Imagen de la ladera erosiva de longitud corta localizada en la vereda Piedramoler, tomada de Google Earth. | 59 |
| Figura 51. | Ladera irregular de longitud larga localizada en las veredas Campo Alegre, La Matilde y Río Claro. | 60 |
| Figura 53. | Lomo denudado bajo de longitud media. a) Modelo de sombras con la delimitación de la unidad. b) Lomo denudado bajo de longitud media al sur de la cabecera municipal..... | 60 |
| Figura 54. | Lomo denudado bajo de longitud larga escalonado. a) Mapa de pendientes con la delimitación de la unidad. b Lomo denudado bajo de longitud larga escalonado al occidente del corregimiento de San Pablo..... | 61 |
| Figura 55. | Lomo denudado bajo de longitud larga. a) Modelo de sombras con la delimitación de la unidad. b) Imagen de la unidad localizada al sur del municipio, tomada de Google Earth. | 61 |
| Figura 56. | Lomo denudado alto de longitud larga al este de la cabecera municipal..... | 62 |
| Figura 57. | Sierra denudada. a) Modelo de sombras con la delimitación de la unidad. b) Sierra denudada al sur del corregimiento de San Pablo. | 62 |
| Figura 58. | Ladera contrapendiente. a) Mapa de pendientes con la delimitación de la unidad. b) Ladera contrapendiente al noroccidente en las veredas La Alacena, El Hacha y El Tabor. c) Ladera contrapendiente al occidente del corregimiento de San Pablo. | 63 |
| Figura 59. | Ladera estructural. a) Mapa de pendientes con la delimitación de la unidad. b) Ladera estructural en la vereda La Alacena..... | 64 |

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 60. | Ladera escalonada | 64 |
| Figura 61. | Barra puntual asociada al río Cauca..... | 65 |
| Figura 62. | Barra longitudinal asociada al río Cauca. | 65 |
| Figura 63. | a) Cauce aluvial asociado al río Frío. b) Cauce aluvial del río Cartama. | 66 |
| Figura 64. | Planicie aluvial confinada asociada al río Cartama..... | 66 |
| Figura 65. | Llanura de inundación asociada al río Cartama, tomada de ortofotografías..... | 67 |
| Figura 66. | Terraza de acumulación asociada al río Cauca, tomada de ortofotografías..... | 68 |
| Figura 67. | Cerro remanente o relicto asociado a la planicie de origen volcánico de Combia..... | 68 |
| Figura 68. | Escarpe de erosión mayor asociado al río San Antonio, tomada de ortofotografías..... | 69 |
| Figura 69. | Escarpe de erosión menor asociado al río San Antonio (mapa de pendientes). | 69 |
| Figura 70. | Ladera erosiva de longitud larga y ladera erosiva de longitud media, en las márgenes izquierda de la parte media de la cuenca del Río Frío. | 70 |
| Figura 71. | Ladera irregular de longitud larga en la veredad San Antonio. | 71 |
| Figura 72. | Ladera ondulada de longitud larga en la veredad Río Frío. | 71 |
| Figura 73. | Ladera ondulada de longitud moderada en la veredad Río Frío. ... | 72 |
| Figura 74. | Lomeríos poco disectados. a) Modelo de sombras con la delimitación de la unidad. b) Imagen de la unidad localizada al noroccidente del corregimiento de Palermo, tomada de fotografías aéreas. | 72 |
| Figura 75. | Lomo denudado bajo de longitud larga, tomada de ortofotografías. 73 | |
| Figura 76. | Loma residual. a) Modelo de sombras con la delimitación de la unidad. b) Imagen de la unidad localizada al occidente del municipio, tomada de Google Earth..... | 73 |
| Figura 77. | Loma residual de pendiente fuerte. a) Mapa de pendientes con la delimitación de la unidad. b) Imagen de la unidad localizada en la vereda La Juventud, tomada de Google Earth..... | 74 |
| Figura 78. | Valle coluvio-aluvial. a) Mapa de pendientes con la delimitación de la unidad. b) Frente de la unidad asociado a la quebrada El Tacón. c) Imagen de un valle coluvio-aluvial asociado a la quebrada El Tacón, tomada de Google Earth. | 75 |
| Figura 79. | Ladera estructural localizada en la vereda El Tacón, a la margen este del Río Frío. | 75 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Figura 80. | Ladera de contrapendiente a la margen sur de la quebrada Juntas en la vereda el Tacón. | 76 |
| Figura 81. | Espinazo disectado. a) Modelo de sombras con la delimitación de la unidad. b) Espinazo disectado entre las veredas El Tacón y San Antonio..... | 77 |
| Figura 82. | Plano o llanura de inundación asociado al Río Frío..... | 77 |
| Figura 83. | Mapa de usos del suelo para el municipio de Támesis. Tomado y modificado del EOT (1999). | 79 |
| Figura 84. | Cultivos de pino en la Vereda El Tacón. | 80 |
| Figura 85. | Cultivos de café en la Vereda Santa Teresa..... | 81 |
| Figura 86. | Laguna en la vereda La Oculta..... | 82 |
| Figura 87. | Cantera en la vía Támesis – San Pablo..... | 83 |
| Figura 88. | Corregimiento de Palermo | 83 |
| Figura 89. | Deslizamientos traslacionales en la Vereda La Betania y deslizamiento traslacional asociado a la quebrada San Bartolo en la vereda Manzanares (áreas superiores a 1600 m ²). Tomado de ortofotografías..... | 84 |
| Figura 90. | Deslizamientos traslacionales en la Vía Támesis - Río Frío y deslizamiento traslacional en la vereda Nudillales..... | 85 |
| Figura 91. | Deslizamientos traslacionales en la vereda Santa Teresa al oeste del corregimiento de Palermo..... | 85 |
| Figura 92. | Deslizamiento traslacional en la vía Támesis – San Pablo, asociado al corte del talud en suelo residual de la Formación Combia..... | 86 |
| Figura 93. | Deslizamiento rotacional asociado a las márgenes de la quebrada El Volcán en la vereda La Pastora..... | 86 |
| Figura 94. | Deslizamiento traslacional en roca meteorizada de la formación Combia en la Vereda Nudillales..... | 87 |
| Figura 95. | Flujo de tierra asociado a un deslizamiento rotacional en la vereda El Tacón y flujo de tierra asociado a un deslizamiento traslacional en la Vereda Manzanares (áreas superiores a 1600 m ²). Tomado de ortofotografías..... | 88 |
| Figura 96. | Procesos erosivos con el suelo desprovisto de vegetación y caminos de vacas en la vereda La Oculta (Tomada de ortofotografías) y El Líbano..... | 88 |
| Figura 97. | Mapa de movimientos en masa para el municipio de Támesis..... | 89 |
| Figura 98. | Calculo de Wi. Tomado de..... | 90 |
| Figura 99. | Grafica de los valores de susceptibilidad para deslizamientos. | 91 |
| Figura 100. | Grafica de los valores de susceptibilidad para flujos. | 92 |

| | |
|--|-----|
| Figura 101. Mapas de susceptibilidad por deslizamientos y flujos para el municipio de Támesis. | 94 |
| Figura 102. Mapas de precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno (TR) para el municipio de Támesis. | 96 |
| Figura 103. Mapa del detonante sismo el municipio de Támesis para un periodo de retorno de 475 años (Fuente: INGEOMINAS & Universidad Nacional, 2010)..... | 98 |
| Figura 104. Mapas de amenazas por deslizamientos para el municipio de Támesis para TR=25, 50 y 100 años. | 100 |
| Figura 105. Mapas de amenazas por flujos para el municipio de Támesis para TR=25, 50 y 100 años..... | 101 |
| Figura 106. Mapas de amenazas por deslizamiento y flujos para un Tr=50 para el municipio de Támesis. | 102 |
| Figura 107. Mapas de formaciones superficiales de la cabecera municipal de Támesis. | 105 |
| Figura 108. Depósitos aluviales asociados al Río San Antonio en la Cabecera municipal al oeste del Hogar Juvenil..... | 106 |
| Figura 109. Depósitos coluviales cerca al coliseo y bloques descubiertos. | 107 |
| Figura 110. Perfil de suelo residual desarrollado en depósitos de vertiente al norte del Hogar Juvenil, en el Barrio La Unión..... | 107 |
| Figura 111. Flujo de escombros al norte de la cabecera Municipal, cerca al sector Los Lagos. | 108 |
| Figura 112. Construcciones sobre bloques descubiertos. | 109 |
| Figura 113. Mapa geomorfológico para la cabecera municipal de Támesis., escala 1:2.000..... | 110 |
| Figura 114. Cima, plaza principal de Támesis. | 111 |
| Figura 115. Laderas erosivas de pendiente fuerte localizada al norte del Hogar Juvenil en el Barrio La Unión. | 113 |
| Figura 116. Laderas erosivas de pendiente fuerte localizada al sur del municipio, en la margen norte del río San Antonio. | 113 |
| Figura 117. Laderas erosivas de pendiente fuerte localizada al suroeste del casco urbano, al norte del río San Antonio. | 114 |
| Figura 118. Ladera ondulada de pendiente suave localizada al norte del Municipio..... | 115 |
| Figura 119. Ladera ondulada de pendiente moderada al norte del Municipio. | 116 |
| Figura 120. Ladera ondulada de pendiente moderada detrás del Hogar Juvenil en el Barrio La Unión. | 116 |
| Figura 121. Ladera ondulada de pendiente suave en el sector Santa Ana..... | 116 |
| Figura 122. Superficie antrópica, Estadio Municipal. | 118 |

| | |
|--|-----|
| Figura 123. Mapa de movimientos en masa para el Municipio de Támesis.... | 119 |
| Figura 124. Deslizamiento traslacional en un ladera erosiva de pendiente fuerte. 120 | |
| Figura 125. Deslizamiento localizado en depósitos de vertiente cerca al vivero La Roca, en la bomba de Terpel..... | 120 |
| Figura 126. Viviendas agrietadas en el sector en El Hoyo, en la margen izquierda del Río San Antonio. | 121 |
| Figura 127. Bloques localizados en el piedemonte del escarpe producto de antiguas caídas de rocas. | 121 |
| Figura 128. Mapas de amenazas por movimientos en masa para la cabecera municipal de Támesis para $T_r = 25, 50$ y 100 años. | 123 |
| Figura 129. Mapa de amenazas por movimientos en masa para la cabecera municipal de Támesis para $T_r = 50$ | 124 |

LISTA DE TABLAS

| | | |
|-----------|--|-----|
| Tabla 1. | Tipos de movimientos en masa. Tomado y modificado de PMA – GCA 2007. | 5 |
| Tabla 2. | Distribución de la variable pendientes para el municipio de Támesis. | 43 |
| Tabla 3. | Distribución de la variable rugosidad para el municipio de Támesis. | 45 |
| Tabla 4. | Distribución de la variable curvatura para el municipio de Támesis | 47 |
| Tabla 5. | Distribución de la variable relieve relativo para el municipio de Támesis. | 49 |
| Tabla 6. | Unidades de relieve y macrounidades del municipio de Támesis. | 51 |
| Tabla 7. | Distribución del uso del suelo para el Municipio de Támesis | 78 |
| Tabla 8. | Distribución de movimientos en masa (MM). | 84 |
| Tabla 9. | Calificación del detonante sismo según su contribución a los movimientos en masa (Tomado de SGC, 2013). | 97 |
| Tabla 10. | Amenaza por deslizamientos en el municipio de Támesis para un $Tr=50$ | 99 |
| Tabla 11. | Amenaza por flujos en el municipio de Támesis para un $Tr=50$ | 99 |
| Tabla 12. | Rango de las características para las unidades. | 110 |
| Tabla 13. | Subunidades de Cima. | 111 |
| Tabla 14. | Subunidades de escarpe de erosión menor. | 111 |
| Tabla 15. | Subunidades de laderas erosivas | 112 |
| Tabla 16. | Subunidades de laderas onduladas | 114 |
| Tabla 17. | Subunidades de las uperficies antrópicas. | 117 |
| Tabla 17. | Consolidado de la amenaza por movimientos en masa para la cabecera municipal de Támesis para un $Tr=50$ años. | 124 |

LISTA DE ANEXOS

| | | |
|-----------------|---|---|
| ANEXO 1. | Recopilación de información secundaria..... | 1 |
|-----------------|---|---|

INTRODUCCIÓN

En este estudio se encuentran los resultados de la zonificación de amenazas por movimientos en masa para el municipio de Támesis, el cual es un insumo para la caracterización de escenarios de riesgo, que pretende brindar una orientación al Municipio hacia el uso adecuado del suelo, para generar una armonía entre el bienestar de la población y el uso del territorio.

Se desarrollaron dos métodos de zonificación, como son el estadístico Bivariado y Heurístico, los cuales arrojaron resultados coherentes con la realidad del municipio. Para el desarrollo de los métodos se describieron variables condicionantes, que son la geomorfología, geomorfología, relieve relativo, rugosidad, pendientes, curvatura y coberturas del suelo; y las variables detonantes como lluvias (mm) y sismos (PGA).

Como resultados se destaca que en el suelo rural del municipio el 49,15% y 80,12% se encuentra en amenaza baja por deslizamientos y flujos, respectivamente, el 24,38% y 9,88% en amenaza media y el 26,38% y 10 % en amenaza alta. Lo anterior muestra que los flujos son un fenómeno que no presenta grandes efectos en el Municipio, y que a diferencia los deslizamientos presentan gran distribución espacial dentro del territorio, motivo por el cual se recomienda integrar el mapa de flujos con el mapa de deslizamientos. Dando como resultado que los fenómenos de movimientos en masa son condicionados por los escenarios propios del terreno como son geomorfología, coberturas del suelo y la rugosidad del terreno, siendo generados en periodos de lluvias.

Para el suelo urbano, la amenaza alta por movimientos en masa representa 7,9% del territorio asociado a las laderas asociadas a los drenajes que cruzan la cabecera municipal y a cambios fuertes de pendientes; y las zonas de amenaza media representan 53,4% distribuida por todo el municipio, en ocasiones relacionada con la amenaza alta, sin ser muy marcada. Siendo el factor antrópico uno de los principales desencadenas de los fenómenos de estudio, relacionada los malos hábitos de construcción y asentamiento de las comunidades. Al igual que en el suelo rural, se deben promover los buenos usos del suelo para disminuir la probabilidad de ocurrencia de este tipo de fenómenos.

JUSTIFICACIÓN

Con el propósito de brindar bienestar a los habitantes, los municipios como entidades básicas del estado juegan un papel fundamental, de debido a que se les confieren obligaciones que demanden el progreso local, es decir, deben velar por el desarrollo. Encaminado a esto, deben propiciar una armonía entre el bienestar de la población y el uso del territorio

Con la necesidad de cumplir con las obligaciones conferidas para reducir la frecuencia e intensidad de los fenómenos amenazantes que puedan generar daños a viviendas y medios de subsistencia o pérdidas de vidas humanas, y dado que estos daños y/o pérdida están relacionadas con la forma de ocupación en intervención del territorio, su ocupación y las actividades económicas. Los municipios implementan los planes municipales de gestión del riesgo para impedir o evitar que se generen estos fenómenos, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación. Motivo por el cual se propone este estudio de zonificación de movimientos en masa, dado que tiene una gran importancia a nivel nacional como insumo en la toma de decisiones sobre políticas para la reducción del riesgo.

PREGUNTA

¿Cuáles son las áreas más propensas y recurrentes a los movimientos en masa en el municipio de Támesis y cuál es la variable que incide en su ocurrencia?

HIPÓTESIS

El fenómeno de movimientos en masa en el municipio de Támesis es condicionado por las unidades litológicas de la zona.

OBJETIVO GENERAL

Realizar una zonificación de amenaza por movimientos en masa para el municipio de Tamesis en el área rural a escala de 1:25.000 y urbana a escala de 1:2.000.

Objetivos específicos:

- Consultar información bibliográfica, mapas e inventarios de los movimientos en masa ocurridos en el municipio.
- Reconocer y cartografiar movimientos en masa con ayuda de sensores remotos.
- Elaborar cartografía geológica y geomorfológica a escala 1:25.000 para la zona rural y 1:2.000 para la zona rural.
- Elaborar mapas de susceptibilidad por movimientos en masa para el área urbana y rural a la escala de trabajo.
- Dividir el municipio en áreas homogéneas de acuerdo con el grado real o potencial de la amenaza por movimientos en masa.
- Generar conclusiones y recomendaciones orientadas al uso adecuado del suelo.

1. CONCEPTUALIZACIÓN

1.1 CONCEPTOS BÁSICOS

En este documento se toman muchas de las definiciones y términos propuestos para uso internacional y se describe el significado de los términos relacionados con el tema, a saber:

1.1.1. Zonificación: Varnes (1984) define zonificación como la división de la superficie del terreno en áreas y la clasificación de acuerdo con el grado actual o potencial de amenaza por deslizamientos u otros movimientos en masa en las laderas (SGC, 2013).

1.1.2. Amenaza: Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales (Ley 1523 de 2012).

1.1.3. Detonante: Acción o evento natural o antrópico, que es la causa directa - inmediata de un movimiento en masa (PMA –GCA 2007).

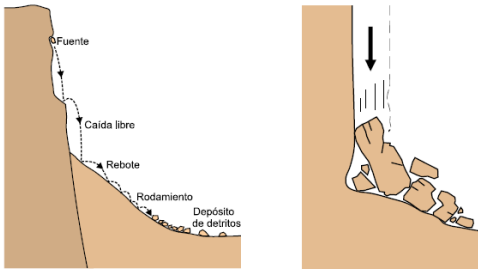
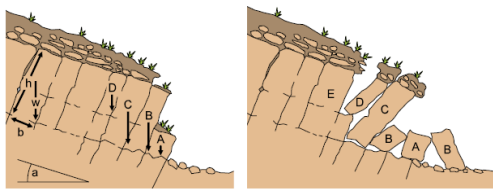

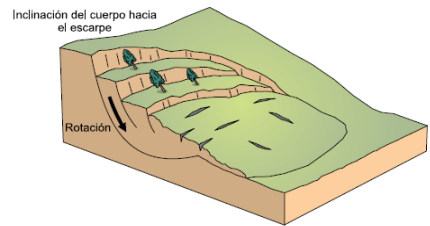
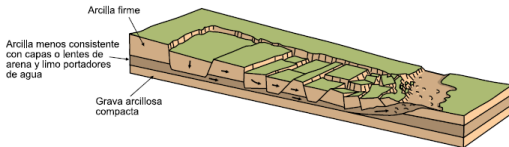
1.1.4. Susceptibilidad de Deslizamiento: Evaluación cuantitativa o cualitativa de una región en la que existen o pueden existir deslizamientos. Esta evaluación considera la clasificación, volumen (o área) y distribución espacial de los movimientos en masa; también puede incluir una descripción de la velocidad e intensidad de los movimientos potenciales o existentes. Aunque se espera que los movimientos en masa ocurran con más frecuencia en la mayoría de las zonas susceptibles, en los análisis de susceptibilidad, no se tiene en cuenta el tiempo de recurrencia. La susceptibilidad a movimientos en masa incluye movimientos en masa originados en la zona de estudio o pueden tener su fuente fuera de esta ella, pero pueden viajar de regreso hacia o desde ésta área (Fell *et al.* 2008 en SGC, 2013).


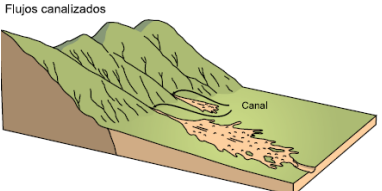
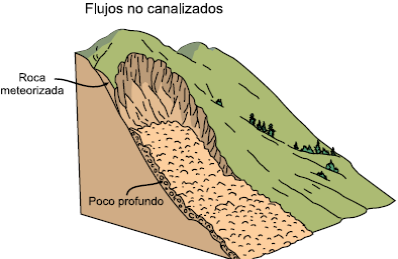
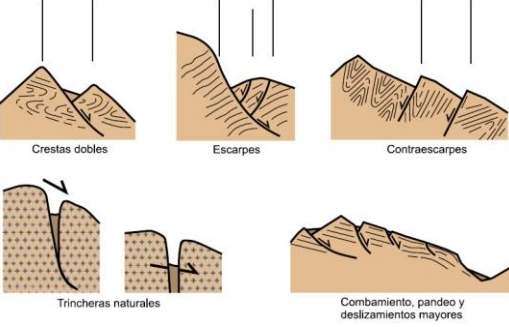
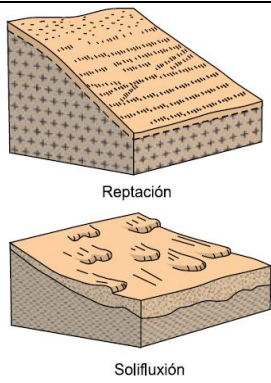
1.1.5. Inventario y catálogo de movimientos en masa: Base de datos que contenga información de localización, clasificación, volumen, actividad, fecha de ocurrencia y otras características de los movimientos en masa en un área (Fell *et al.* 2008 en SGC, 2013).

1.2 TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA

Incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Cruden, 1991). Algunos movimientos en masa, como la reptación de suelos, son lentos, a veces imperceptibles y difusos, en tanto que otros, como algunos deslizamientos pueden desarrollar velocidades altas y pueden definirse con límites claros, determinados por superficies de rotura (Crozier, 1999a, en Glade y Crozier, 2005). En la tabla 1 se hace una descripción de cada tipo de movimiento en masa.

Tabla 1. Tipos de movimientos en masa. Tomado y modificado de PMA – GCA 2007.

| TIPOS DE MOVIMIENTOS EN MASA | | |
|------------------------------|--|---|
| CAÍDAS |  | <ul style="list-style-type: none"> - Uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, los cuales caen desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento. - El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido. |
| VOLCAMIENTOS |  | <ul style="list-style-type: none"> - Rotación, generalmente hacia adelante, de uno o varios bloques de roca o suelo alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior. - Pueden ser lentos y graduales. |
| DESLIZAMIENTOS | <p><i>Traslacional</i></p>  <p><i>Rotacional</i></p>  | <ul style="list-style-type: none"> - <u>Traslacional</u>: la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual. - La velocidad puede variar desde rápida a extremadamente rápida. - <u>Rotacional</u>: la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. - Pueden ocurrir lenta o rápidamente |
| PROPAGACIÓN LATERAL |  | <ul style="list-style-type: none"> - El desplazamiento ocurre predominantemente por deformación interna (expansión) del material. - El estrato competente superior puede fracturarse y separarse en bloques o losas; el material blando inferior fluye hacia las grietas entre los bloques. - Es extremadamente lento. |
| FLUJOS | <p><i>Flujo de lodo</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> - <u>Flujo de lodo</u>: flujo canalizado, muy rápido a |

| | | |
|--|--|--|
| |  <p>Flujo de tierra</p>  <p>Flujo de detritos</p>  | <p>extremadamente rápido, de detritos saturados plásticos, cuyo contenido de agua es significativamente mayor al del material fuente.</p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>Flujo de tierra:</u> es un movimiento intermitente de suelo arcilloso plástico. Los flujos de tierra desarrollan velocidades moderadas. El volumen de estos flujos puede llegar hasta cientos de millones de metros cúbicos. - <u>Flujo de detritos:</u> es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. |
| <p>DEFORMACIONES GRAVITACIONALES PROFUNDAS</p> |  | <ul style="list-style-type: none"> - Presentan rasgos de deformación, pero sin el desarrollo de una superficie de ruptura definida. - Usualmente con muy baja magnitud de velocidad y desplazamiento. |
| <p>REPTACIÓN</p> |  | <ul style="list-style-type: none"> - Son aquellos movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. - Dentro de este movimiento se incluyen la solifluxión y la gelifluxión, este último término reservado para ambientes periglaciales. |

1.3 MÉTODOS DE ZONIFICACIÓN

1.3.1. Método Heurístico

Conocido como “método geomorfológico subjetivo” (PMA: GCA, 2007). Éste método se fundamenta en categorizar y ponderar los factores causantes de inestabilidad según la influencia esperada de éstos en la generación de movimientos en masa. Es un método conocido como indirecto, los resultados se pueden extrapolar a zonas sin movimientos en masa con una combinación de factores similar (SGC, 2013).

Para los modelos heurísticos, se utilizan las opiniones de expertos para estimar el potencial de deslizamientos a partir de datos de las variables independientes del lugar. El diseño de este tipo de modelos requieren un análisis exhaustivo de los factores causales y su relación en el área de estudio (Castellanos et al, 2008). Los resultados del modelo dependen fuertemente de la experiencia y los conocimientos de los investigadores, incluso más que en las evidencias de campo y los datos; sin embargo es el único enfoque posible para deslizamientos causados por diferentes mecanismos (Ruff et al, 2008). Las áreas de amenaza se clasifican por términos tales como "muy alta", "alta", "moderada", "baja" y "muy baja" (Castellanos et al, 2008). Aunque la cartografía geomorfológica detallada es esencial, ésta técnica permite la valoración cualitativa a la susceptibilidad a deslizamientos para grandes áreas en un tiempo relativamente corto (M. Van Den Eeckhaut et al, 2010).

La escala de susceptibilidad siempre es subjetiva y se debe indicar en una leyenda especial en el mapa de terreno. En este método es clave la experiencia del geomorfólogo (PMA: GCA, 2007), debido a este grado de subjetividad no se pueden comparar documentos producidos por diferentes autores.

1.3.2. Método Estadístico

En los análisis estadísticos de amenaza por movimientos en masa se combinan factores que han generado los movimientos en masa en el pasado y que se pueden determinar de forma estadística. De esta manera se hacen predicciones cuantitativas para áreas libres de movimientos en masa donde existen condiciones similares (SGC, 2013). Entre los procedimientos diferentes se presentan el bivariado y el multivariado.

1.3.2.1. Análisis estadísticos bivariado.

En el análisis estadístico bivariado cada factor de mapeo (por ejemplo pendiente, geología, cobertura del suelo), se combina con la distribución de los movimientos en masa en el mapa y se calculan valores ponderados de densidades de movimientos en masa para cada clase (W_i), por ejemplo clase de unidad litológica, tipo, cobertura del suelo, entre otros (SGC, 2013).

$$W_i = \ln \left(\frac{Densclas}{Densmap} \right) = \ln \left[\frac{\frac{Npix(Si)}{Npix(Ni)}}{\frac{\sum Npix(Si)}{\sum Npix(Ni)}} \right]$$

W_i = Ponderación dado a determinado parámetro de clase (ejemplo, tipo de roca).
 $Densclas$ = Densidad de los deslizamientos dentro del parámetro de clase.
 $Densmap$ = Densidad de los deslizamientos dentro del todo el mapa.
 $Npix(Si)$ = Número de pixeles que contienen deslizamientos dentro de un determinado parámetro de clase.
 $Npix(Ni)$ = Número total de pixeles e un determinado parámetro de clase.

Figura 1. Calculo W_i , Tomado de CORANTIOQUIA-EAFIT (2015^a)

1.3.2.2. Análisis Estadísticos multivariado.

Fueron desarrollados en Italia principalmente por Carrara. Para su aplicación se muestrean todos los factores relevantes como una large-grid basis o como unidades morfométricas. Para cada unidad muestreada se determina la presencia o ausencia de movimientos en masa. La matriz que resulte se analiza usando regresiones múltiples o análisis discriminantes. Con estas técnicas se han tenido buenos resultados en zonas homogéneas o en áreas con apenas pocos tipos de movimientos en masa (SGC, 2013).

1.3.3. Método Determinístico

Los métodos determinísticos utilizan análisis mecánicos y modelos de estabilidad para determinar el factor de seguridad de una ladera concreta. Son métodos de fiables y precisos cuando se dispone de datos válidos sobre los parámetros de resistencia de la ladera. Permiten, de acuerdo con el tipo de modelo, el análisis no sólo de la susceptibilidad a la falla sino también del alcance (como los modelos de caídas de bloques) y de la frecuencia del fenómeno. Existe una amplia variedad de métodos determinísticos disponibles para realizar análisis de estabilidad, desde análisis de talud infinito en su caso más simple hasta modelos complejos tridimensionales (Graham, 1984). El método más usual se aplica para movimientos en masa traslacionales utilizando el modelo de talud infinito (Ward et al, 1982; Brass et al, 1989; Murphy y Vita- Finzi, 1991). Estos métodos generalmente requieren el uso de modelos de simulación del agua subterránea (Okimura y Kawatani, 1986) (SGC, 2013).

Aunque los métodos determinísticos son más adecuados para evaluar la inestabilidad en áreas pequeñas (una única ladera), se han utilizado en análisis de amenaza para grandes áreas (regionalización) con el objetivo de discriminar zonas con parámetros de seguridad significativamente distintos (Van Westen, 1993; Van Westen y Terlien, 1996; Luzi y Pergalani, 1996; Leroi, 1996). El análisis se puede llevar a término en distintas condiciones (Luzi, 1995): estáticas, considerando la estabilidad del deslizamiento sin introducir fuerzas dinámicas externas; pseudoestáticas, evaluando la entidad de la

mínima fuerza dinámica externa que podría desencadenar el deslizamiento y condiciones dinámicas, en donde se introduce una fuerza dinámica externa comparable a un terremoto (SGC, 2013).

1.3.4. Métodos Estocásticos

Los métodos estocásticos están basados en variables tomadas como datos al azar, los cuales se relacionan entre ellas con funciones probabilísticas. Algunos de estos sistemas son: Lógica Difusa (LD), Algoritmos difusos (AD), Redes Neuronales Artificiales (RNA), Algoritmos genéticos (AG), Programación Geotécnica (PG), Colonia de Hormigas y Algoritmos Evolucionados.

2. METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta el proceso utilizado para la elaboración del mapa zonificación de amenaza por movimientos en masa en el municipio de Támesis, en el área rural a escala 1:25.000 y en el área urbana a escala 1:2.000, el cual se desarrolló en las siguientes etapas: 1) *Revisión de información secundaria*, 2) *Interpretación de sensores remotos*, 3) *Trabajo de campo* y 4) *Trabajo de oficina*. Descritos a detalle a continuación:

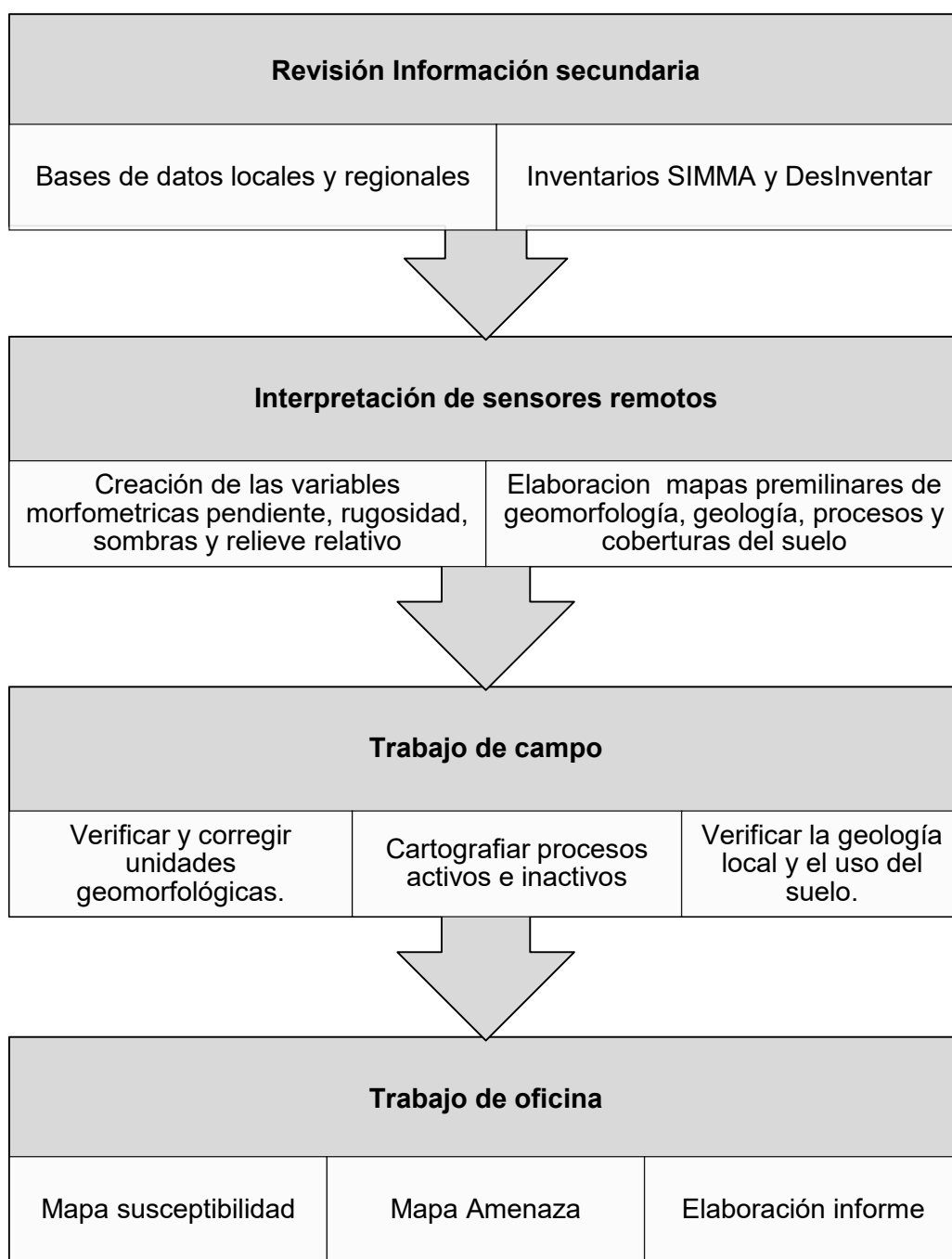


Figura 2. Cuadro metodológico para la elaboración del mapa de amenazas por movimientos en masa para el municipio de Támesis.

2.1. REVISIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

La primera etapa consistió en la recolección de información secundaria, donde se consultó material bibliográfico generado por entidades del orden local y regional como SICAT (Servicio Geológico Colombiano), CIA (Centro de información ambiental de CORANTIOQUIA) de las cuales, se extrajo información relacionada con estudios geológicos y geomorfológicos, usos de suelos y zonificaciones de amenazas naturales. Igualmente, se examinaron las bases de datos de SIMMA y DESINVENTAR, y el Esquema de ordenamiento territorial (EOT) del municipio de Támesis para tener un registro histórico de los diferentes eventos (movimientos en masa) en el Municipio. Estos documentos permitieron una primera aproximación a las condiciones generales de la zona de estudio (ver detalle de la revisión secundaria en Anexo 1).

2.2. INTERPRETACIÓN DE SENSORES REMOTOS

La segunda etapa consistió en el procesamiento digital de imágenes y modelos digitales del terreno obtenidos a partir de la cartografía básica para obtener mapas de pendientes, rugosidad, sombras y relieve relativo. A partir de dicha información se generó un mapa geomorfológico preliminar fundamentado en la diferenciación de geoformas definidas con criterio genético, morfológico y geométrico, en función de los procesos geomorfológicos específicos que las conforman.

Este mapa preliminar fue la base para el trabajo de campo, en donde se controló la interpretación con toma de datos morfométricos, que permitieron validar o modificar la información obtenida de las actividades llevadas a cabo en el trabajo preliminar.

A continuación se hace una descripción general de las características asociadas a cada uno de estos insumos empleados en esta etapa

2.2.1. Base cartográfica: Se utilizó la base cartográfica básica correspondiente al municipio de Támesis a escala 1:25.000, del Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC (2005) que pertenece a las planchas 166 – Jerico y 186 - Riosucio. La información contenida en esta base cartográfica comprende curvas de nivel cada 50 m, drenajes, límites administrativos y construcciones, entre otros. Con este insumo, la información se encuentra referenciada en el sistema Magna_Colombia_Bogota. Sin embargo, para la zona urbana no se contó con cartografía básica a escala 1:2.000. A continuación se presenta la base cartográfica a escala 1:25.000 para el Municipio.

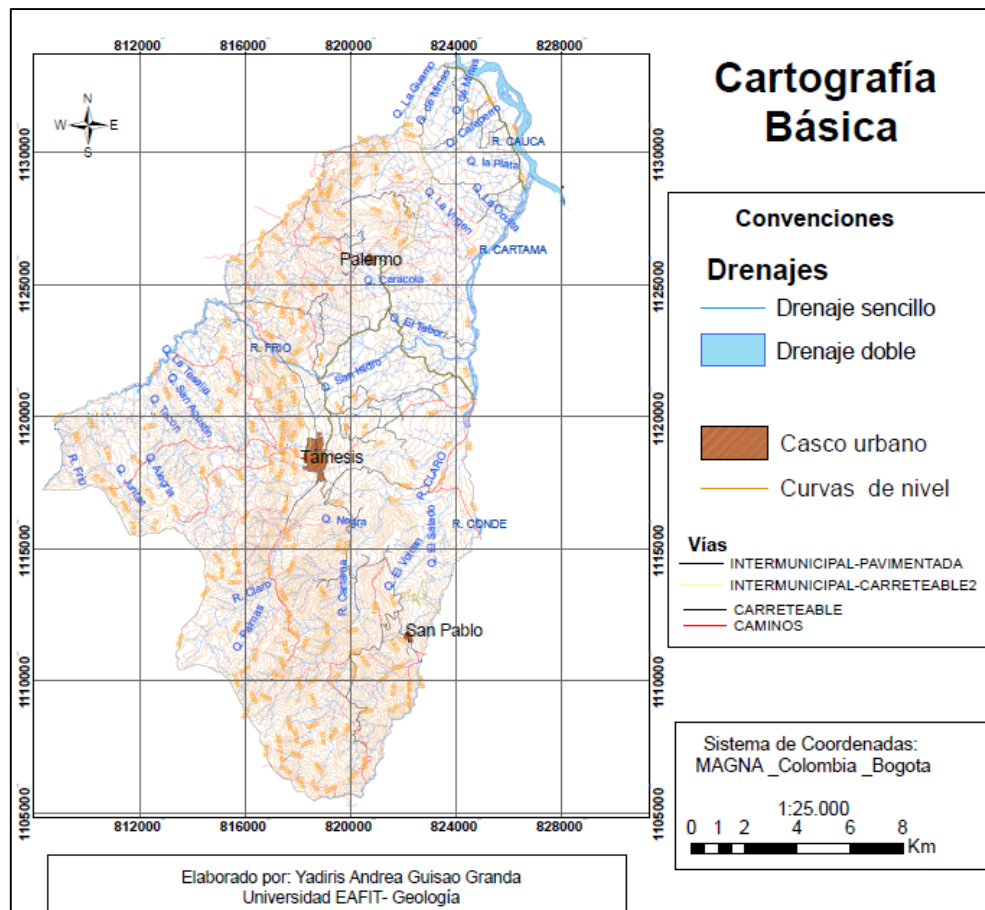


Figura 3. Cartografía básica para el municipio de Támesis, escala 1:25.000

2.2.2. Modelo de elevación digital: El modelo de elevación digital (Figura 4) utilizado para generar las variables morfométricas y el mapa de sombras (Figura 5) del Municipio se generó con ayuda de las curvas de nivel y la red de drenajes de la cartografía básica (Tamaño de pixel 25x25).

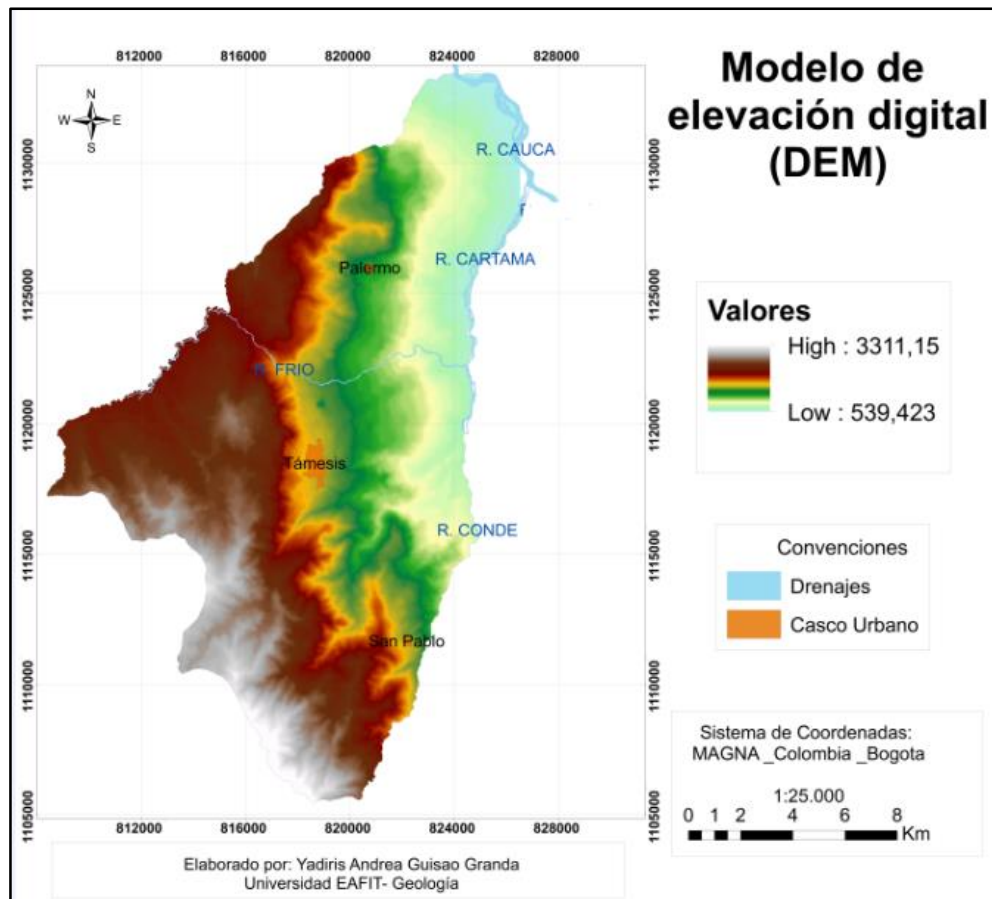


Figura 4. Modelo de elevación digital del terreno (DEM) para el municipio de Támesis, escala 1:25.000

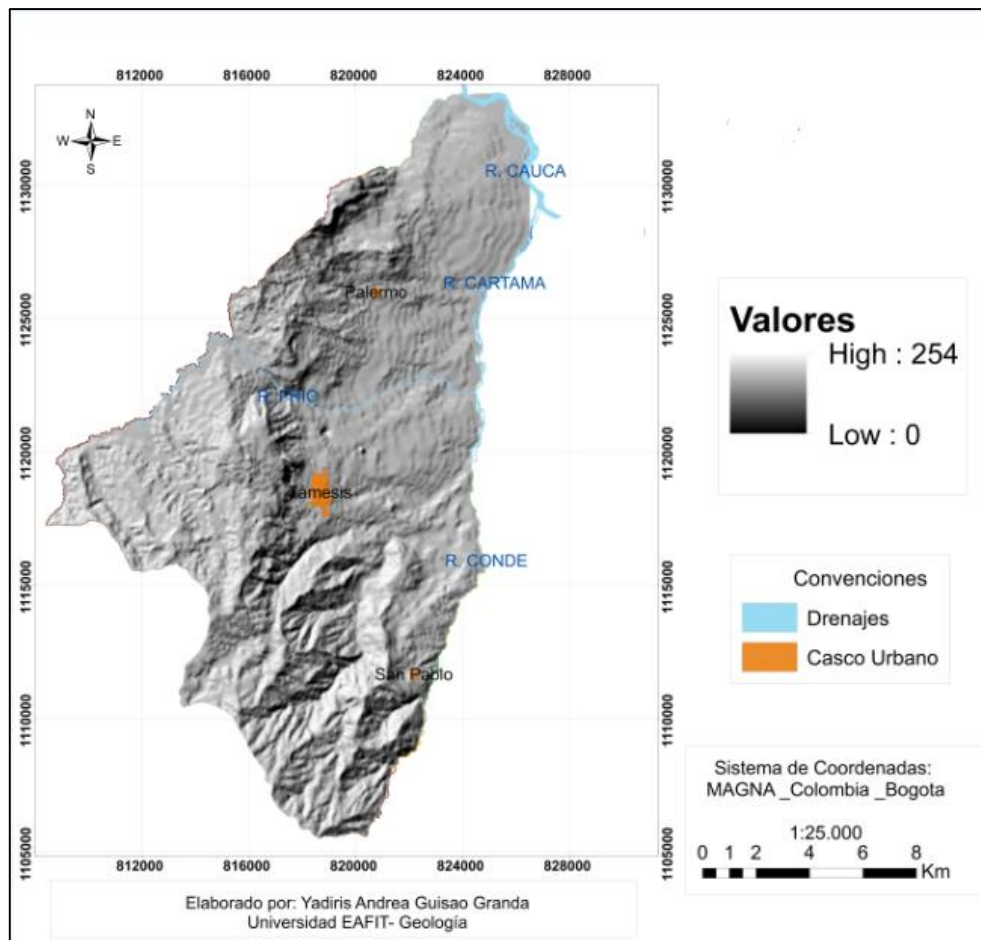


Figura 5. Modelo de sombras para el municipio de Támesis, escala 1:25.000

2.2.3. Sensores remotos: Los sensores remotos con ayuda de las variables morfométricas se utilizaron para la delimitación preliminar de las unidades geomorfológicas, el ajuste geomorfológico de la geología, el ajuste de la cobertura del suelo y, a cartografiar los movimientos en masa registrados en cada uno de ellos. Los sensores utilizados fueron:

Ortofotografías: Estas ortofotografías fueron suministrada por un programa de la gobernación de Antioquia llamado Cartoantiquia (2012) presentaron un cubrimiento total del municipio a escala 1:10.000 para la zona rural (Figura 6) y 1:2.000 para el área urbana (Figura 7).

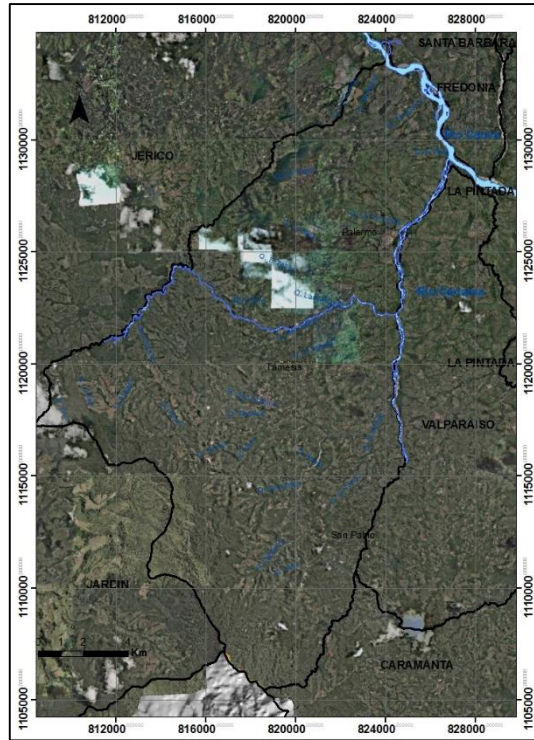


Figura 6. Ortofotografía para el área rural del municipio de Tamesis, escala 1:10.000.

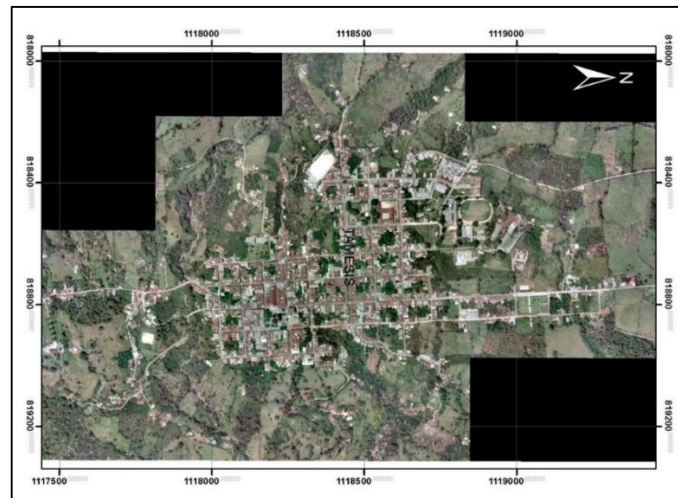


Figura 7. Ortofotografía para el área urbana del municipio de Tamesis, escala 1:2.000

Google Earth: Este sensor fue útil para la delimitación de unidades geomorfológicas y cartografía de procesos; además presento un cubrimiento total de la zona de estudio.



Figura 8. Cubrimiento de Google Earth para el municipio de Tamesis.

Fotografías aéreas: Se utilizaron cuatro (4) fotografías aéreas (848- 849 -850 y 851) a escala 5.500 pertenecientes a la faja 23U de la cabecera municipal de Tamesis, para hacer una interpretación de geoformas en la zona urbana.



Figura 9. Fotografía aérea para el municipio de Tamesis.

Imágenes de satélite: Con la ayuda del software ArcGis se interpretó las imagen RapidEye 2013-12-28t162851_re4_1bnac_15318780_176576_orto con diferente combinación de bandas con el objetivo de identificar procesos de movimientos en masa, la cual presentó un completo cubrimiento para el municipio de Tamesis (Figura 10) .

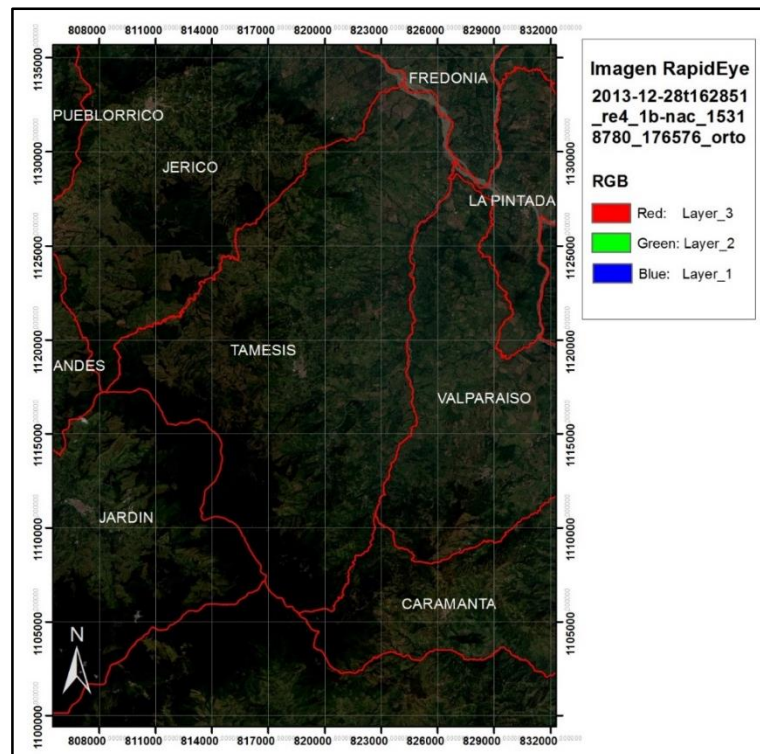


Figura 10. Imagen RapidEye para el municipio de Tamesis.

2.3. TRABAJO DE CAMPO

La tercera etapa consistió en la verificación del campo, la cual se realizó 15 días para la zona rural y 5 para la zona urbana, donde se llevó a cabo un reconocimiento general de la zona a través de las diferentes vías de acceso. El objetivo de este trabajo consistió en la verificación de las unidades geomorfológicas preliminares y el levantamiento de información particular para cada unidad como morfología y morfodinámica, al igual que información sobre coberturas del suelo y geología local.

Igualmente durante este trabajo de campo se realizó la recopilación de información asociada a procesos morfodinámicos, levantada de acuerdo a los requerimientos del SIMMA, lo cual permitió la caracterización de las condiciones morfodinámicas de las unidades geomorfológicas y geológicas cartografiadas.

2.4. TRABAJO DE OFICINA

La última etapa consistió en el trabajo de oficina donde se consolidó la información obtenida en las etapas anteriores y se generaron los respectivos ajustes a cada una de las variables, para así, obtener el mapa geomorfológico, geológico, usos del suelo y procesos morfodinámicos definitivo.

Con todas las variables a evaluar validadas (geología, geomorfología, usos del suelo, pendientes, curvatura, relieve relativo y rugosidad), se calculó la susceptibilidad de movimientos en masa tipo deslizamiento y flujos para la zona rural del Municipio, para la cual se escogió el método estadístico

bivariado, el cual da una medida cuantitativa de la densidad de los movimientos en masa.

El cálculo de la susceptibilidad para el área rural consistió en la relación de las áreas de las variables a evaluar con el área de los movimientos en masa para definir el peso (W_i) de cada rango con respecto a la presencia y posible ocurrencia de los fenómenos de interés del estudio. Finalmente los valores de los pesos resultantes se sumaron y se obtuvo la susceptibilidad.

Con el método heurístico se calculó la susceptibilidad urbana, donde se le asignaron pesos a cada variable a evaluar (1,3,5,7 o 9, siendo 9 el valor que más favorece a los movimientos en masa) dependiendo de la posible ocurrencia de un fenómeno de movimiento en masa de acuerdo con lo observado durante el trabajo de campo. A cada variable se le asignó un porcentaje de acuerdo a la importancia en la ocurrencia del fenómeno y, finalmente, este porcentaje se multiplicó por el peso asignado y el resultado de las variables se sumó para obtener los valores de susceptibilidad.

Para el cálculo de la amenaza, adicional a la susceptibilidad se propuso como detonantes lluvia y sismo, utilizando solo lluvia debido a que “sismo” no aporta valores porque el municipio se localiza en un solo rango de amenaza por este tipo de fenómeno. El detonante lluvia se obtuvo a partir de las estaciones de lluvia y se calculó la lluvia máxima diaria para los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años (información suministrada por el proyecto CORANTIOQUIA-EAFIT (2015^b)), y se tomó el detonante sismo del Mapa Nacional de Amenaza Sísmica (INGEOMINAS & Universidad Nacional, 2010), el cual proporciona los valores de aceleración máxima horizontal (PGA) a nivel de terreno firme correspondiente a un período de retorno de 475 años.

Posteriormente, se le asignó pesos a susceptibilidad (80%) y detonante lluvia (20%), que se multiplicaron con el W_i de cada variable para obtener una serie de valores de amenaza, los cuales fueron graficados en función del área acumulada amenaza versus el porcentaje de área acumulada de movimientos en masa y se establecieron los rangos de amenaza Alta, Media y Baja. Para la amenaza urbana al igual que para la rural, se le asignó valor a la susceptibilidad (80%) y se emplearon los detonantes lluvia (18) y sismo (2%)

Y por último se elaboró un informe recopilando toda la información obtenida durante el estudio para la elaboración de mapas de amenazas por movimientos en masa para el Municipio de Támesis, para el área rural y urbana.

3. GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO

3.1. LOCALIZACIÓN

Támesis es un municipio del departamento de Antioquia (Colombia), localizado en la subregión Suroeste (SO), a 108 Km de Medellín; a una altura de 1638 metros sobre el nivel del mar (cabecera municipal), a 5° 40' de latitud Norte y 75° 43' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich. Posee un área rural de 242 Km² y urbana de 1 Km². Limita al norte con los municipios de Jericó y Fredonia, al sur con el Municipio de Caramanta y el Departamento de Caldas, al oriente con el Municipio de Valparaíso y al occidente con los Municipios de Jericó y Jardín. Posee dos corregimientos Palermo y San Pablo, ubicados al norte y sur de la cabecera municipal respectivamente, catastralmente se tienen identificadas 36 veredas pero se tienen identificadas con Juntas de Acción Comunal y personería jurídica 37 veredas. Cuenta con una población de 16.500 habitantes (<http://www.tamesis-antioquia.gov.co/>).

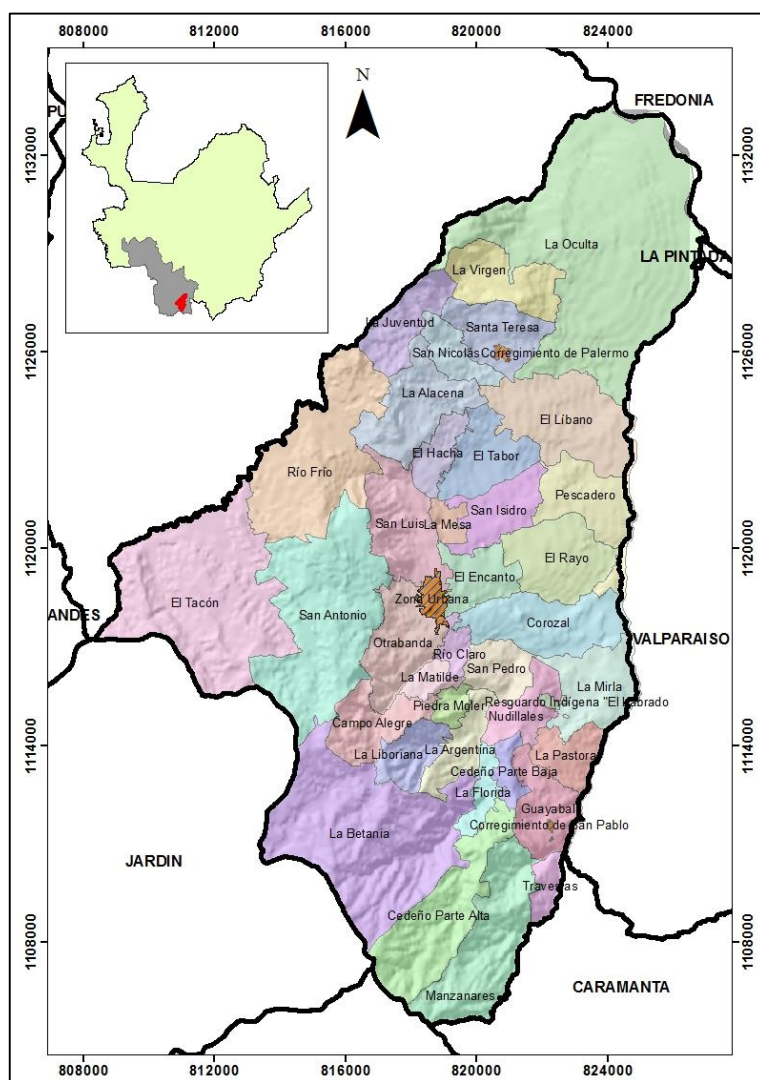


Figura 11. Mapa de localización del Municipio de Támesis.

3.2. CLIMA

En el caso del municipio de Támesis se tomó la clasificación realizada por Luis Sigifredo Espinal la cual se basa en las zonas de vida siguiendo la metodología propuesta por Holdridge; en la cual el Municipio presenta dentro de su territorio cinco (5) zonas de vida que controlan la vegetación y fauna del lugar; estas zonas de vida son:

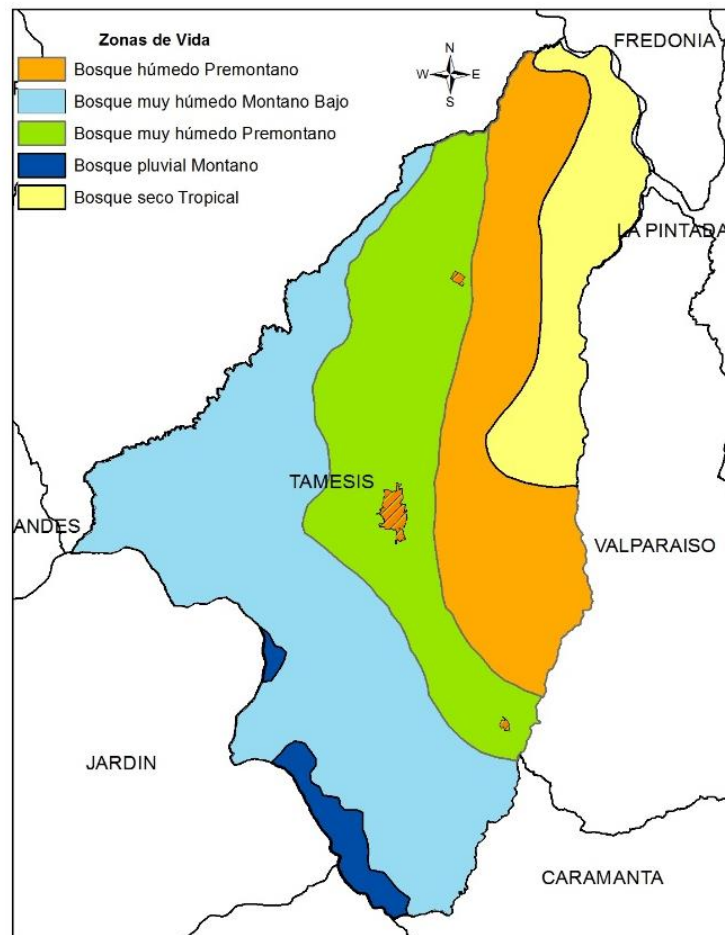


Figura 12. Mapa de zonas de vida del Municipio de Támesis (Tomado y modificado del EOT, 1999)

- *Bosque seco Tropical (bs-T):* Presenta como límites climáticos generales una biotemperatura superior a 24° C, altura de 600 a 1000 m.s.n.m. y precipitación promedio anual de 1000 a 2000 mm. Ocupa en el municipio la zona contigua a los ríos Cartama y Cauca, partes de las veredas La Oculta, El Líbano, Pescadero y El Rayo (EOT, 1999).
- *Bosque húmedo Premontano (bh-P):* se puede encontrar en el municipio a alturas que varían entre los 1000 y los 1300 m.s.n.m., con precipitaciones promedias entre 1000 y 2000 mm anuales. La biotemperatura tiene como límites aproximados de 18 a 24° C. Comprende parte de las veredas El Encanto, El Líbano, La Oculta, El

Tabor, San Isidro, El Rayo, Corozal, San Pedro, Nudillales, La Mirla y La Pastora (EOT, 1999).

- *Bosque muy húmedo premontano (bmh-P)*: En general tiene como límites climáticos una biotemperatura media aproximada entre 18 y 24° C, con un promedio anual de lluvias entre 2000 a 4000 mm. y una altura de 1400 a 2000 m.s.n.m. Comprende parte de las veredas La Virgen, Santa Teresa, San Nicolás, La Alacena, El Hacha, El Tabor, La Mesa, San Luis, Rioclaro, Otrabanda, La Matilde, Piedramoler, La Argentina, La Florida, Cedeño parte baja, Guayabal, los corregimientos de San Pablo, Palermo y la cabecera municipal (EOT, 1999).
- *Bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB)*: tiene como límites climáticos generales una biotemperatura media aproximada entre 12 y 18° C., un promedio anual de lluvias de 2000 a 4000 mm y ocupa una faja altimétrica entre los 2000 y 2900 m.s.n.m. La neblina y el rocío desempeñan un papel definitivo como generadores de aumento en el volumen de aguas de precipitación y escorrentías que influyen en su vegetación. Comprende las veredas: Travesías, Manzanares, Cedeño parte Alta, La Betania, La Liboriana, Campo Alegre, San Antonio, El Tacón, Riofrío y la Juventud (EOT, 1999).
- *Bosque pluvial Montano (bp-M)*: tiene como límites climáticos una temperatura media aproximada entre los 6 y 12° C. y un promedio anual de lluvias superior a los 4000 mm. Esta región llamada comúnmente páramo o subpáramo se inicia sobre los 2900 m.s.n.m hasta los 3300 m máxima altura del municipio en límites con el municipio de Jardín (EOT, 1999).

En general, el Municipio de Támesis está distribuido en tres pisos térmicos así: zona caliente que corresponde al 19% del territorio con una temperatura promedio de 26°C, zona fría el 31% con una temperatura promedio de 16°C a 18° C; y la zona templada el 55% restante con una temperatura promedio de 20° C. a 21° C., zona donde se ubica la mayor parte de la población (<http://www.tamesis-antioquia.gov.co/>)

3.3. SUELOS

Se utilizó la clasificación efectuada por la Federación de Cafeteros en el “*Estudio de zonificación y uso potencial de los suelos de la zona cafetera del suroeste*”, porque se adapta mejor a las condiciones de los suelos que se encuentran en el municipio de Támesis, dado que es un estudio realizado en una escala regional mucho más reducida que el efectuado por el IGAC adoptado por la Secretaría de Agricultura del Departamento de Antioquia. Vale la pena anotar que aunque los dos estudios emplean metodologías diferentes y poseen nomenclaturas de asociaciones diferentes, estas coinciden en sus características pedológicas fundamentales y la cartografía es muy similar. La nomenclatura utilizada se define así: las dos primeras letras son las abreviaturas de la unidad, el número siguiente indica la posición (alta (1), media (2) o baja (3)) y después de la barra inclinada, la letra indica la posición

fisiográfica (Vertiente (A), Colinas (B), Coluviones (C) y Valles (D)); por ejemplo, CH1/CD significa que está en la unidad Chinchiná en la parte alta en coluviones y valles.

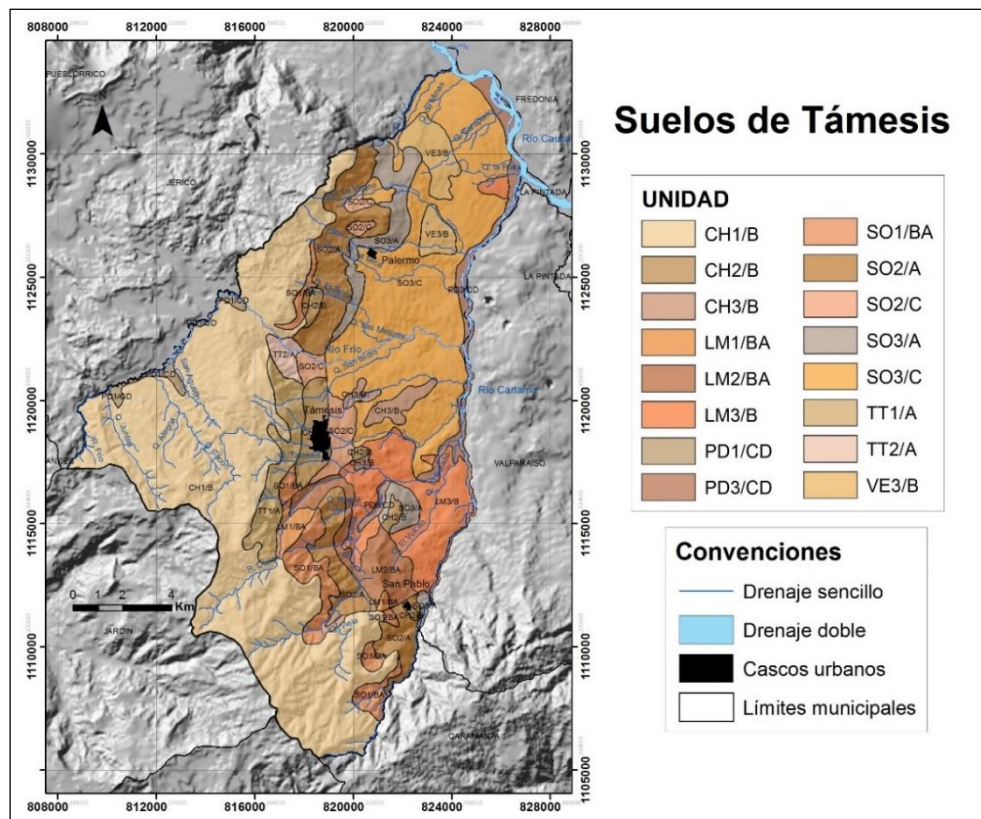


Figura 13. Mapa de suelos del Municipio de Támesis (Tomado y modificado del EOT, 1999).

A continuación se definen las unidades de suelos presentes en el municipio de Támesis con base en el “*Estudio de zonificación y uso potencial de los suelos de la zona cafetera del suroeste*”:

Unidad Chinchiná (CH): CH1/B – CH2/B. Tiene como material las cenizas volcánicas, se caracterizan por presentar una fisiografía de colinas suavemente onduladas con pendientes variables desde casi planas hasta el 75% pero de longitudes cortas (<100 m).

En forma general los suelos presentan pH ácido, capacidad de cambio permanente es baja, saturación de base es baja. La materia orgánica es alta y tiene gran poder de fijación de fósforo. La densidad aparente es menor que la unidad y la alóftana es el principal contribuyente de la fracción de arcilla.

Unidad La Miel (LM): LM1/BA - LM2/BA – LM3/B. Presenta como material parental a areniscas de grano fino a medio de color verdoso, se encuentra normalmente en colinas de piedemonte suavemente onduladas con pendientes entre 25 y 75% con longitudes inferiores a 150 metros.

Son suelos muy profundos de colores violáceos, texturas arcillosas, estructuras en bloque subangulares susceptibles a la erosión, poca retención de humedad y de mediana a baja fertilidad natural. Drenaje externo rápido e interno de medio a rápido. Son ácidos con altos contenidos de aluminio y alta saturación, tiene de medio a bajo contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

Unidad Pedrero (PD): PD1/CD – PD3/CD. Se agrupan en esta unidad materiales heterogéneos; complejos de depósitos, transportados por el agua y acumulados, formando pequeños valles, terrazas, coluviones o abanicos de piedemonte; ocupan relieves planos y abanicos de piedemonte a manera de planos inclinados con pendientes entre 0 a 12% con longitudes rectas y cortas.

Son suelos normalmente poco evolucionados y superficiales afectados por fuerte pedregosidad de diferentes tamaños, tanto superficial como a través del perfil.

Unidad Suroeste (SO): SO1/BA - SO2/A - SO2/C - SO3/A - SO3/C. El material parental que define esta unidad corresponde en su mayoría al miembro volcánico de la formación Combia. Presenta tres aspectos fisiográficos: 1) vertientes erosionales con pendientes que van desde 50 a 75% pero de longitudes normalmente cortas (< 100 m), 2) colinas suavemente onduladas con pendientes variables, pero de longitudes cortas y 3) fuertes escarpes verticales de considerable altura que han sido formadas por erosión diferencial a través del tiempo.

Son suelos de buena profundidad efectiva, ácidos con concentraciones de aluminio que aumenta con la profundidad. De medianos a altos en contenidos de potasio, bajos en materia orgánica y fósforo y con muy baja saturación de base respecto a la capacidad de intercambio de cationes efectiva.

Unidad Titiribí (TT): TT1/A - TT2/A. Presenta como roca parental las andesitas hornbléndicas. Se presenta en algunos sectores donde la topografía es abrupta de pendientes superiores al 80% y longitudes variables; y el resto de la unidad se caracteriza por topografías de van de onduladas a fuertemente onduladas, con pendientes variables desde 25 a 70% pero con longitudes cortas.

Son suelos de muy buena profundidad efectiva, de colores pardo-amarillento a rojizos, drenaje externo rápido , interno medio, buena retención de humedad, franco arcillo-limoso, pegajosos y plásticos susceptibles a la erosión, abundante actividad de macroorganismos y mediana fertilidad natural.

Unidad Venecia (VE): VE3/B. El material que define esta unidad es un complejo de rocas sedimentarias pertenecientes al terciario carbonífero de Antioquia, se presenta a manera de planos inclinados que forman depresiones alargadas configurando un relieve de colinas escalondas con pendientes variables desde 25 a 70% y con longitudes variables pero normalmente cortas (< 100 m).

3.4. GEOLOGÍA REGIONAL

El municipio de Támesis se encuentra enmarcado geográficamente en la margen oriental de la cordillera Occidental, en la subregión del Suroeste antioqueño (SO) y el marco regional del municipio geológicamente, está compuesto por un conjunto de rocas que involucran los tres tipos existentes (ígneas, sedimentarias y metamórficas) que abarcan un rango de edades que van desde el Paleozoico hasta el Cenozoico.

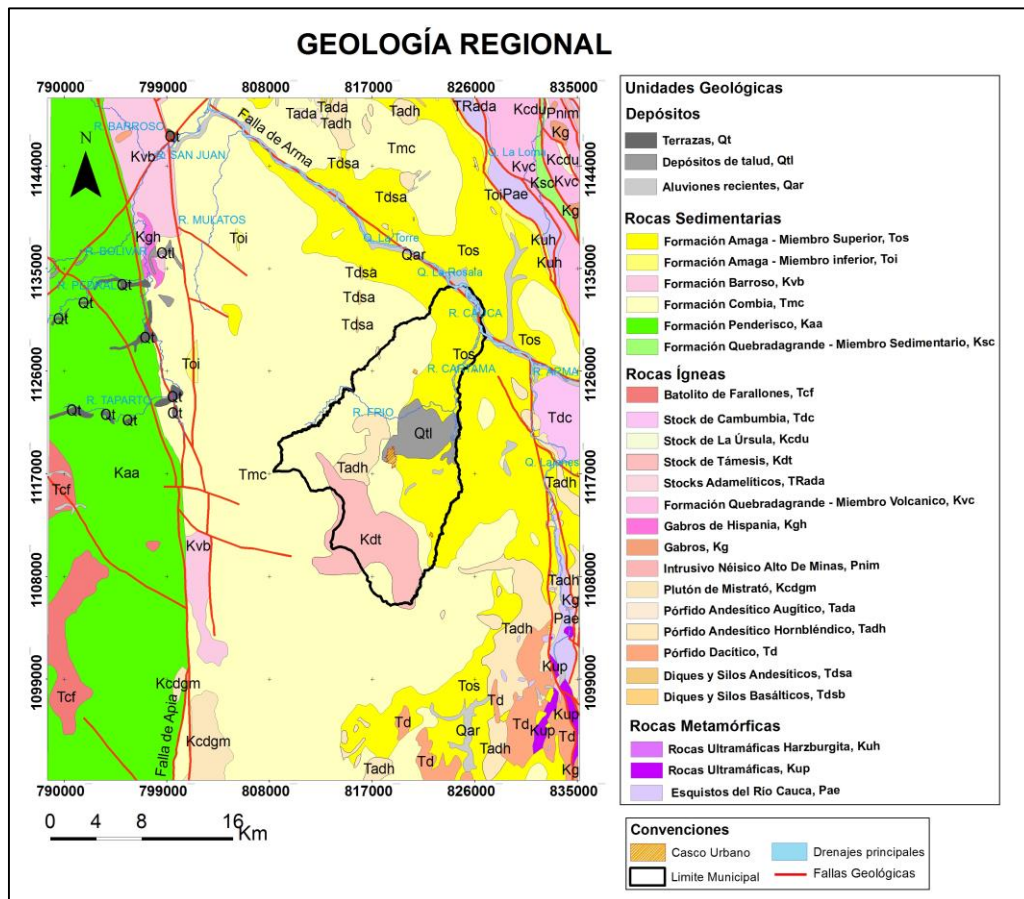


Figura 14. Mapa geológico regional para el municipio de Támesis. Tomado de las planchas 166 – Jericó y 186- Riosucio, Escala 1:100.000 (INGEOMINAS, 1980^a y 1980^b).

Tomando la división de terrenos realizada por Cediel et al. (2003), esta zona corresponde con el Terreno Romeral, que es un terreno muy complejo, formado durante la acreción de la margen andina norte a lo largo del Sistema de Fallas Romeral en el Cretácico Temprano. En el Cretácico Tardío, este terreno fue intruído por batolitos granodioríticos y cuarzo-monzoníticos y cubierto por una secuencia de ambiente transicional en el Eoceno al Mioceno Temprano: la Formación Amagá, que está dominada por areniscas, gravuacas, lodolitas, conglomerados con clastos de cuarzo y capas de carbón (e.g. Sierra et al., 2011; Londoño et al., 2013). En el Mioceno Medio, el área fue deformada compresionalmente, evidenciado por cabalgamientos convergencia hacia el este (Sierra et al., 2011; Ramírez et al., 2006). Durante el Mioceno Tardío, la Formación Amagá fue suprayacida por rocas volcano-

sedimentarias de la Formación Combia; caracterizada por flujos de lava basálticos y andesíticos, aglomerados, tobas intermedias a félsicas, conglomerados, areniscas; intruídas por pórfidos (Ramírez et al., 2006).

La secuencia sedimentaria que se formó en el Terciario al igual que las demás rocas presentes en el área fueron afectadas por la Orogenia Andina, causante de la actual disposición geomorfológica de los Andes Colombianos. Por último, se encuentran numerosos depósitos recientes tanto de vertiente como aluviales debido a actividad cuaternaria.

3.4.1. Geología Estructural

Al Este de la cabecera municipal de Támesis, poco más o menos a unos 25 Km, se encuentra el sistema de fallas Cauca – Romeral, el cual presenta grandes y claras expresiones geomorfológicas y texturales; lineamientos fisiográficos, contactos fallados con desarrollo de zonas cataclásticas y milonitizadas, bloques exóticos en una unidad de roca dura, anomalías gravimétricas y/o magnéticas (Case et al, 1971 en INGEOMINAS, 1982), unidades litológicas de edad y ambiente geológico diferente en contacto, efectos de metamorfismo dinámico de intensidad variable, son los más comunes. De las características de megaestructuras se incluye un movimiento tanto vertical como de rumbo (INGEOMINAS, 1982).

Aproximadamente a unos 14 Km al Noreste del área urbana hay claras evidencias de la falla de Arma, la cual interrumpe y cambia la dirección N-S de del Río Cauca y las fallas que desde el sur afectan el flanco occidental de la Cordillera Central a un sentido más NW-SE hacia el norte de ésta. El desplazamiento es en sentido sinistral (Castaño y Zapata, 1991).

Cerca de 18 Km al Oeste del municipio hay una zona donde es más visible un sistema tectónico caracterizado por la presencia de fallas y lineamientos de gran expresión dinámica y geomorfológica, con orientación diferencial bien marcada, según, N-NE, S-N y N-NW. Las fallas más notorias son: Mistrató, conocida más al norte como Guasabro, Remolino, La Mansa, San Juan y un gran lineamiento de dirección N-NW que coincide con el cambio de rumbo del Río Cauca al sur de Bolombolo. La gruesa cobertura de rocas piroclásticas cubre la mayor parte de la zona enmascara las paleoestructuras, no obstante, existen algunas fallas de edad Terciario tardío a Cuaternario que afectan las rocas más recientes (Formación Combia) (Castaño y Zapata, 1991). Igualmente lineamiento de gran expresión longitudinal son de mediana ocurrencia en el área y pueden ser la expresión de grandes paleofallas rumbo (INGEOMINAS, 1982).

3.5. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

La zona de estudio se enmarca fisiográficamente en el borde occidental de la cordillera Occidental, limitando al oriente y norte por el cañón del río Cauca y al oeste por la Planicie de origen Volcánico (Combia). Su evolución geomorfológica se retoma para este estudio de la interpretación evolutiva geomorfológica planteada por CORANTIOQUIA (2002), basada en la

hipótesis sobre el origen del relieve de los cinturones montañosos, a partir de la formación de superficies de erosión denominadas como superficies de aplanamiento, y que a nivel regional han sido abordados principalmente para la explicación del paisaje en el centro de Antioquia por autores como Page & James (1981) y Arias (1995).

Esta propuesta utiliza la jerarquización del relieve en niveles de órdenes, y se definen los relieves de primer orden como aquellos asociados a la estructura morfológica básica de las cadenas montañosas (Arias, 1995), entre los cuales se encuentran las superficies de erosión con sus diferentes escarpes regionales que marcan el levantamiento de cada una de estas éstas, así mismo los relieves que afectan la continuidad de los anteriores como son los denominados cañones y frentes erosivos, y que para este trabajo son denominadas unidades de relieve (Figura 15).

De acuerdo con el esquema de jerarquización geomorfológica propuesto por CORANTIOQUIA (2002) en el municipio de Támesis, se definen dos unidades de relieve denominadas Cañón (del Río Cauca – San Juan) y Planicie de origen Volcánico (Combia), las cuales se presentan a continuación:

3.5.1. Cañón del Río Cauca – San Juan (C1): Genéticamente son valles con encajamientos significativos que se forman por cambios en el nivel base de la erosión, reflejando un aumento de la incisión vertical y que se encuentran segmentando los altiplanos (CORANTIOQUIA, 2002). Se localiza al este del municipio de Támesis y conforma una franja alargada en sentido norte-sur desde los límites con el departamento de Caldas al sur hasta la desembocadura de la quebrada La Guamo, entre los municipios de Jericó y Támesis, al norte. En la unidad se ubica la cabecera municipal de Támesis y los corregimientos de Palermo (al norte) y San Pablo (al sur).

3.5.2. Planicie de Origen Volcánico de Combia (Pvc): Genéticamente corresponde a una antigua zona volcánica muy diferente al que actualmente se presenta en el eje de la cordillera central, porque su origen está relacionado con una cuenca que permitió la acumulación de una espesa secuencia volcanosedimentaria. Es una superficie que se encuentra a una altura promedio de 2300 msnm, se caracteriza por presentar vertientes de media y baja inclinación onduladas, como vertientes estructurales de alta inclinación, todas ellas desarrolladas sobre las rocas volcanosedimentarias de la Formación Combia (CORANTIOQUIA, 2002). Se encuentra localizado al oeste del municipio, y enmarcado por el límite con el municipio de Jericó hacia el noroeste y el municipio de Jardín al suroeste.

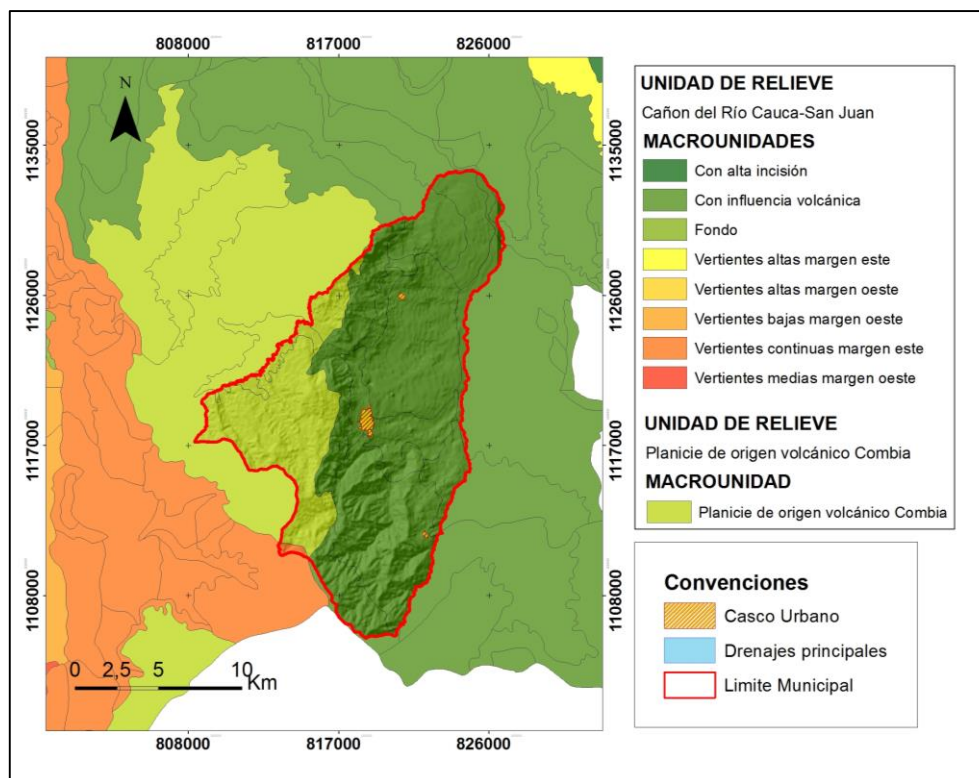


Figura 15. Unidades de relieve y macrounidades para el municipio de Tamesis.
Tomado de CORANTIOQUIA, 2002.

4. VARIABLES PARA LA ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA DEL SUELO RURAL

4.1. GEOLOGÍA RURAL

En el municipio de Támesis, considerado estar en la margen oriental de la cordillera occidental de Colombia, no existen unidades rocosas ubicadas antes del Cretácico. En el área hay cuerpos intrusivos que expresan el magmatismo Cretáceo y Terciario; secuencias sedimentarias de ambiente aluvial, volcanoclástica con algunas intercalaciones lávicas y depósitos cuaternarios que cubren algunas de las unidades anteriores (Figura 16). Las unidades geológicas presentes en el municipio de Támesis son:

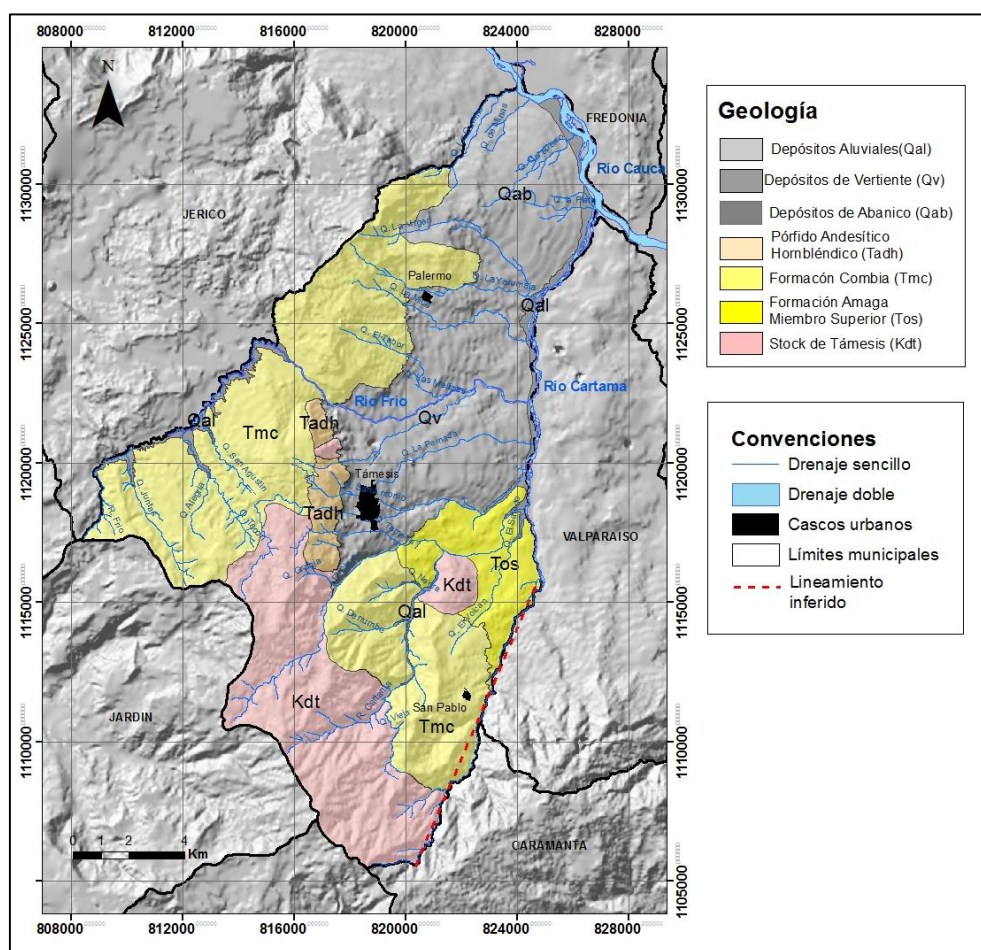


Figura 16. Mapa geológico de la zona rural del municipio de Támesis. Tomado y modificado de las planchas 166 – Jericó y 186- Riosucio, Escala 1:100.000 (INGEOMINAS, 1980^a y 1980^b).

4.1.1. Stock de Támesis (Kdt)

González (1976) propuso el nombre de Stock de Támesis para un cuerpo de composición diorítica predominante, localizado cerca de la población de Támesis, a unos 70 km al suroeste de Medellín, en el Departamento de Antioquia y sobre el flanco oriental de la Cordillera Occidental.

El stock de Támesis constituye un cuerpo plutónico que tiene una forma elongada con su dimensión mayor en dirección N20°W, una longitud de 28 km y una amplitud máxima de 8 km en su parte central, que se estrecha hacia sus extremos, constituye un cuerpo de unos 40 Km². La composición mineralógica varía según el tipo de ferromagnesiano y de la presencia o ausencia de cuarzo y feldespato potásico, pero en términos generales es predominantemente diorítica con variaciones locales a cuarzodiorita, cuarzomonzodiorita y gabro anfibólico. La roca predominante es fanerítica equigranular que varía localmente a pegmatítica o de apariencia porfídica debido a la variación en el tamaño de los cristales; de color moteado gris medio y negro, a crema en zonas de meteorización intensa por argilización de los feldespatos. La textura es holocristalina, hipidiomórfica granular y como fases minerales esenciales y caracterizantes se encuentran plagioclasa, hornblenda, augita, biotita y, localmente, ortoclasa y cuarzo (González y Londoño, 2002).

Este cuerpo se localiza hacia el suroeste del Municipio en su mayor extensión y en la vía que comunica a la cabecera municipal con la vereda Río Frío. Además, gran cantidad de bloques subredondeados en proceso de meteorización esferoidal son comunes en los depósitos de vertiente y a lo largo de las quebradas que drenan este cuerpo hacia el río Cauca. Se caracteriza por presentar unos suelos residual de color amarillo claro a blanco arenosos profundos, con una pequeña capa de materia orgánica.

En la exposición de este cuerpo en la vía Támesis - Río Frío, se utilizó la roca meteorizada como fuente de arenas para la industria de la construcción y para la fabricación de bloques, pero ahora se frenó la extracción de este material debido a el detonante de movimientos en masa que este era(Figura 17).



Figura 17. Antigua cantera de arena del Stock de Támesis en la vía Támesis – Río Frío.

4.1.2. Formación Amagá (Tos)

Fue definida inicialmente por Grosse (1926) como Terciario Carbonífero de Antioquia, a la cual subdividió en pisos de acuerdo al contenido de carbón explotable y no explotable. Fue elevada al grado de Formación por Van der Hammen (1958), siguiendo la nomenclatura expuesta inicialmente por Grosse y la renombró como Formación Antioquia. Posteriormente, González (1980) la renombra Formación Amagá por la sección tipo descrita en las cercanías de la población de Amagá en el departamento de Antioquia y la subdivide en tres miembros. Finalmente a partir de estudios de procedencia de sedimentos entre otros, Sierra et al., (2001), subdivide la Formación Amagá en 2 miembros, de acuerdo a las asociaciones de facies que presentan y a las características petrográficas, descritos a continuación:

El miembro inferior, subdividido en las unidades 1 y 2, presenta asociaciones faciales de ríos meándricos y trenzados con una buena preservación de las características morfológicas. Este miembro está conformado principalmente por areniscas conglomeráticas cuarzosas y sublitoarenitas, acompañadas de mantos de carbón (Sierra et al., 2001).

El miembro superior se subdivide en las unidades 3 y 4, con asociaciones faciales de ríos meándricos y trenzados, respectivamente. Presenta una baja preservación de las características morfológicas, en contraste con el miembro inferior. Está compuesto principalmente por wackas líticas con fragmentos de rocas volcánicas y litoarenitas feldespáticas, con ausencia de carbón (Sierra et al., 2001).

En la zona este del municipio de Támesis afloran rocas sedimentarias del miembro superior, el cual se caracteriza por la ausencia de conglomerados, la abundancia de areniscas gris azuladas a gris verdosas cuando están frescas y gris amarillenta cuando están meteorizadas y la presencia de arcillolitas de color ocre deleznales. Localmente (vía Pescadero –Támesis) se presentó de base a techo una intercalación de estratos de lodolita violácea con concreciones de carbonatos; una arenisca gris de grano media a fino con bolas de arena más litificada (matriz carbonatada); un estrato de arenisca conglomerática con contacto erosivo hacia la base y granodecreciente hacia el techo y hacia la parte superior una intercalación de lodolitas gris-verdosa con una roja-violácea (Figura 18). La mejor exposición del miembro superior de la Formación Amagá se encuentra en la carretera La Pintada – Valparaíso, sin embargo en la vía La Fabiana- Támesis y en algunas quebradas que cortan esta unidad, se observan algunos afloramientos (Figura 19).

Aunque el área comprendida entre el escarpe y el Río Cartama está cubierta en su totalidad por depósitos, se evidencia algunas ventanas de la formación Amaga, la cual subyace con relación a las formaciones cuaternarias. Esta unidad presenta suelos residual .de color pardo amarillento profundo, no se alcanza a observar la estructura de la roca original (Figura 20).



Figura 18. Afloramiento de la Formación Amagá miembro superior en la vía Pescadero – Támesis, en la margen izquierda.

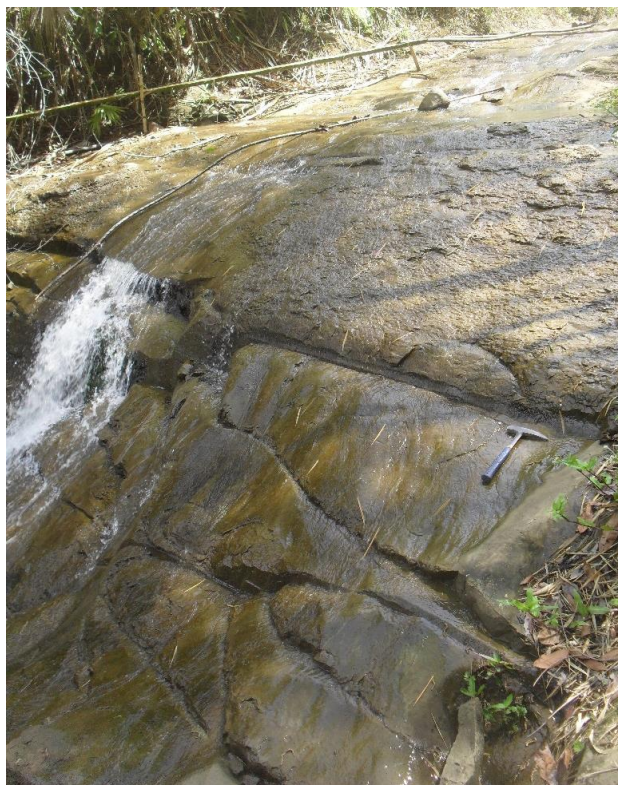


Figura 19. Afloramiento del Miembro Superior de la Formación Amagá en el lecho de la quebrada La Peinada en la vía Pescadero – Támesis.



Figura 20. Afloramiento del perfil de meteorización de la formación Amaga en la vía Pescadero – Támesis.

4.1.3. Formación Combia (Tmc)

La Formación Combia (Grosse, 1926) está formada por rocas volcanoclásticas que suprayacen discordantemente a la Formación Amagá en el Suroccidente de Antioquia. Esta formación está dividida en dos miembros (González, 1976):

El Miembro Sedimentario está compuesto por sedimentos con aportes de material volcánico que se superponen a los distintos miembros de la Formación Amagá (Grosse, 1926; INGEOMINAS, 1980). Litológicamente está constituido por interestratificaciones de conglomerados, brechas sedimentarias, areniscas de grano fino a medio y arcillolitas de color crema rojizo. En los conglomerados y brechas, los constituyentes son variados, abundando los cantos de basalto, andesitas, tobas y areniscas de la Formación Amagá (INGEOMINAS, 1982).

El Miembro Volcánico se compone esencialmente de conglomerados con matriz tobácea, shales de color crema, areniscas tobáceas, tobas de cristales, tobas de cenizas, aglomerados, brechas volcánicas y derrames de basalto y andesitas. Los aglomerados están compuestos por rocas volcánicas, con una matriz hipocristalina de composición andesítica, las tobas están compuestas por fragmentos cristalinos de augita, hornblenda, biotita, cuarzo, feldespatos caolinitizados, proporción variable de vidrio volcánico y fragmentos de rocas volcánicas. La mayor parte de los derrames eruptivos corresponden a basaltos feldespáticos. Es común observar niveles de autobrechas, sucedidos por niveles de lava maciza vesicular o amigdaloides, con vesículas rellenas de calcedonia, localmente diaclasados, exhibiendo bloques redondeados producto de meteorización esferoidal y a veces, estructuras columnares (INGEOMINAS, 1980).

Las rocas de la Formación Combia presentes en el municipio de Támesis pertenecen al miembro volcánico y se localizan hacia el occidente y sur. Esta unidad se caracteriza por presentar cantos redondeados a subredondeados de hasta 40 cm en su mayor dimensión en una matriz vítrea de color verdosa y de composición andesítica. Las rocas volcánicas que conforman esta unidad se presentan por lo general masivas, presentan una meteorización alta hasta moderada, los cuales son rasgos que afectan notoriamente las condiciones geomorfológicas del Municipio.

En la vía que conduce de Támesis al correimiento de San Pablo en la margen norte de la Quebrada La Negra se localiza una cantera que ha sido utilizada como fuente de material de afirmado para las carreteras del municipio, utilizando las rocas basálticas anteriormente mencionadas (Figura 21).



Figura 21. Cantera en la vía hacia San Pablo en la margen norte de la Quebrada La Negra

Hacia el costado norte del Río Frío, al occidente de Palermo en la vía que conduce a la Vereda Santa Teresa, afloran basalto, tobas y otros materiales asociados a los eventos volcánicos que dieron origen a dicha formación, con fenocristales de plagioclasas y textura finogranular típicamente volcánica, formando cuerpos escarpados, que han originado los depósitos de vertiente presentes en la zona de Palermo.

A su vez hacia el occidente del municipio (atrás del escarpe) y al sur de la cabecera municipal, la litología está caracterizada por la presencia de aglomerados verdes y azules cementados por material volcánico (Figura 22). Al occidente en las veredas San Antonio, El Guayabo, El Tacón, se ha desarrollado, un suelo residual de color café-pardo que no conserva la estructura original y alcanza grandes espesores que puede observarse en los cortes sobre los caminos veredales (Figura 23), donde el único material poco alterado está representado por las bloques de rocas incluidas dentro del suelo residual y generadas a partir de un proceso de meteorización esferoidal típicos de tales conglomerados en esta zona, dichos bloques alcanzan diámetros hasta de 5 a 6 metros, pero los más frecuentes entre 2 y 3 m (Figura 24).



Figura 22. Aglomerados en la vereda San Luis.



Figura 23. Suelo residual en la vereda El Tacón.



Figura 24. Bloques redondeados en saprolito de la Formación Combia en la vía Támesis –Río Frío, en la vereda Río Frío.

Además, debido a las condiciones climáticas, estas rocas desarrollan sobrecapas de meteorización, constituidas por materiales limoarenosos de color pardo, gris y morado (Figura 25) y al sur del municipio se evidencian derrames volcánicos de composición andesíticos de color verdes en estado fresco y coloraciones rojizas en estado de alteración (Figura 26).

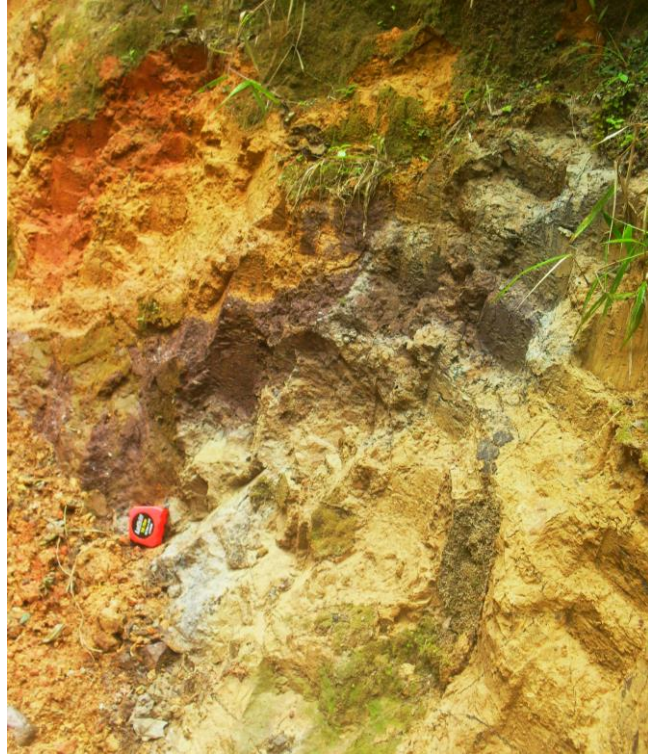


Figura 25. Suelo residual en la vereda Cedeño bajo

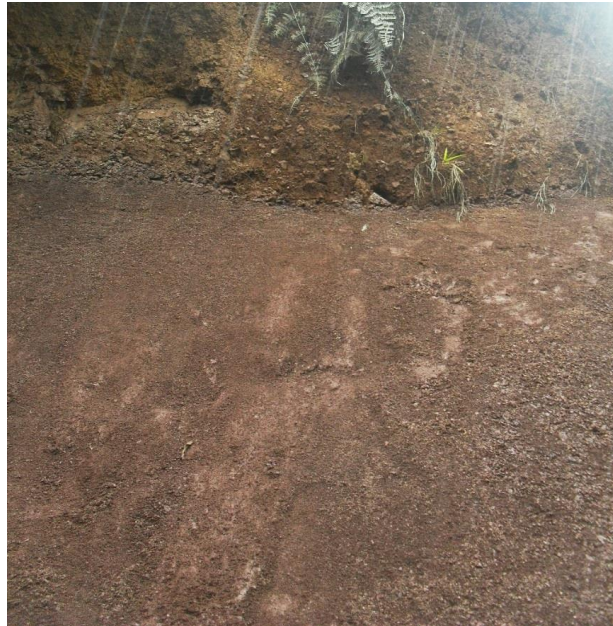


Figura 26. Afloramiento de derrames volcánicos en estado de alteración en la vereda Nudillales.

4.1.4. Pórfidos andesíticos hornbléndicos (Tadh)

Esta unidad esta representa por rocas color amarillo– pardo de textura porfirítica, con fenocristales de plaglioclasa y hornblenda de tamaños hasta 4 cm, embebidos en una matriz afanítica gris clara. Esta unidad conforma el escarpe

que limita al occidente la cabecera municipal y presenta una altura alrededor de 700 m.

Bloques de esta unidad de tamaños centimétricos a métricos se localizan en los alrededores del municipio como registro de la caída de roca en la zona del escarpe, además también se observan, en el lecho y orillas de las quebradas, depósitos compuestos por bloques de esta unidad.



Figura 27. Bloques de los Pórfidos andesíticos hornbléndicos en las márgenes de la quebrada San Antonio al occidente de la cabecera municipal.

4.1.5. Depósitos Cuaternarios

Los depósitos más relevantes son los depósitos aluviales, de vertiente y de abanico. Estos depósitos constituyen sectores importantes del área en estudio, cubriendo parcialmente algunas de las otras unidades ya descritas.

Para el municipio no se realizó una separación en subtipos de los depósitos anteriormente mencionados por la escalada de trabajo, pero hablaremos de ellos por su importancia como registro histórico de fenómenos amenazantes presentes en el Municipio.

4.1.5.1. Depósitos Aluviales (Qal)

Los depósitos aluviales son depósitos acumulados en los valles de los ríos permanentes. En estos encontramos principalmente a los materiales que rellenan los fondos de los valles del Río Frío (en la parte alta sobre rocas de la Formación Combia), la parte baja del Río Cartama, el Río Conde, el Río San Antonio y algunas terrazas y aluviones del Río Cauca. En la parte alta del Río Frío se pueden identificar algunos niveles de terrazas bajas formando una planicie aluvial que muestra el grado de evolución del río en esta zona.



Figura 28. Llanura de inundación del Río Frío (margen izquierda) en la verdad Río Frío.

Además, entre estos depósitos encontramos los depósitos *aluviotorrenciales*, no cartografiados en el mapa pero de igual importancia, estos son generados durante los eventos de alta energía ocurridos en algunas corrientes que drenan la zona cuyos cauces aumentan en gradiente con la altura; estas condiciones les permiten arrastrar materiales bastante heterogéneos desde bloques rocosos de dimensiones métricas hasta limos, arenas y arcillas, todos los cuales se depositan caóticamente en zonas de baja pendiente.

Estos depósitos se localizan sobre pequeñas corrientes como las quebradas Támesis, La Peinada, La Guamo y La Negra. Entre estos depósitos se incluyen los materiales rocosos, gravas, cantos y bloques que rellenan y bordean los cauces de los ríos San Antonio, Río Claro, Cartama, Conde y Río Frío; así como los organales desarrollados a lo largo de algunas corrientes, como los observados en las márgenes de los ríos San Antonio y Río Frío.

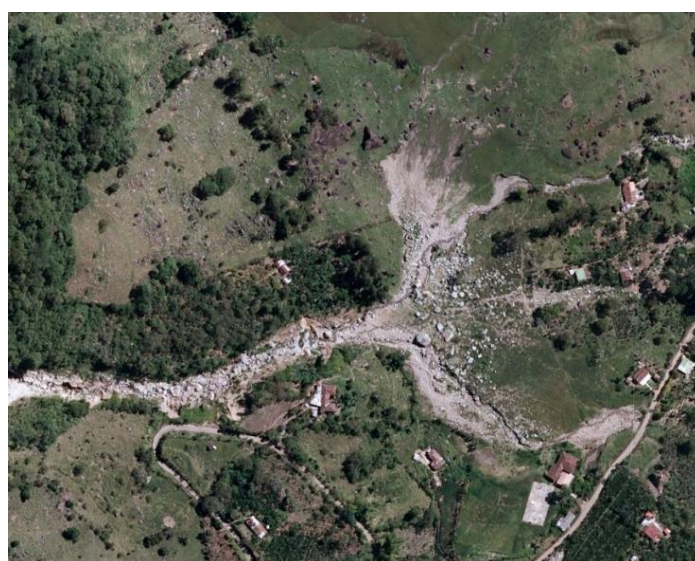


Figura 29. Depósitos aluvioterrenciales en la Quebrada Támesis, al sur de la cabecera municipal.

4.1.5.2. Depósitos de Vertiente (Qv)

Estos depósitos se localizan desde el escarpe hasta las inmediaciones con el río Cartama, son en general de gran extensión y composición variable dependiendo de su localización. Dichos depósitos se pueden diferenciar por el material predominante el cual se encuentra relacionado con la formación propia del depósito, es así como se encuentran flujos de lodo en los cuales predominan fragmentos de tamaños limo y arcilla y depósitos de escombros caracterizándose por la presencia de grandes bloques de roca compuestos por bloques de andesita y aglomerados de la formación Combia (de aproximadamente 5m de diámetro) embebidos en una matriz arenosa y limo – arcillosa).

Retomando lo escrito por Castaño y Zapata (1991) "... Además, el límite occidental del casco urbano está marcado por un escarpe vertical generado por la intrusión de un pórfido andesítico a través de la secuencia volcanoclástica de la Formación Combia; dicho escarpe, conformado por un cuerpo de roca diaclasado y en parte desprovisto de vegetación, se constituye en la fuente que dio origen al gran depósito de talud que cubre toda el área estudiada y alcanza el valle del Río Cartama, al Este del municipio. En caso de un reactivamiento de la dinámica de este escarpe, el área urbana de Támesis se vería fácilmente afectada por la consecuente caída de bloques de roca del mismo cuerpo."



Figura 30. Depósitos de flujo de escombros en la cabecera municipal con bloques de pórfidos andesíticos.



Figura 31. Flujo de escombros en la vía Támesis - San Pablo.



Figura 32. Depósitos de vertiente con bloques de aglomerados de la formación Combia en la vereda Pescadero, margen izquierda de la vía.



Figura 33. Depósitos de vertiente formando un abanico, al norte del corregimiento de Palermo en la Vereda La Oculta.

4.2. VARIABLES MORFOMÉTRICAS

4.2.1. Pendientes

Se define como el ángulo de la ladera con respecto a la horizontal, en términos de grados o en términos de porcentaje. Se relaciona con la ocurrencia de movimientos en masa debido a que estos últimos constituyen un fenómeno de tipo gravitacional, en los cuáles las pendientes de rangos moderados a fuertes están asociados a valores de aceleración mayores; sin embargo la ocurrencia de estos movimientos se relaciona también con la generación de suelo, el cual se desarrolla de manera general en condiciones de menor inclinación y en menor proporción en zonas de inclinaciones mayores, con menores o nulos espesores en zonas abruptas a muy abruptas, en las cuáles predominan los fenómenos de caída de roca, por lo cual el comportamiento cualitativo que más se ajusta a esta variable está relacionado con una función de carácter sinoidal (CORANTIOQUIA-EAFIT, 2015^a).

El Municipio de Támesis presenta una superficie quebrada con diferentes rangos de pendientes que reflejan una morfología muy irregular. Sin embargo, las pendientes suaves y moderadas representan un 45 % (entre ambas) de área, las pendientes planas y escapadas son las menos recurrentes con un 5% (entre ambas) y el 50% del área restante se reparte de manera muy similar entre los otros rangos de pendientes Fuerte, Muy Fuerte y Abrupta. A continuación se en la tabla 2 y la Figura 34 la distribución de las pendientes para el Municipio:

Tabla 2. Distribución de la variable pendientes para el municipio de Támesis.

| Rangos | % Pendiente | Área (ha) | % Área |
|------------|-------------|-----------|--------|
| Plano | 0-3 | 936,20 | 3,67 |
| Suave | 3-10 | 3289,81 | 12,90 |
| Moderada | 10-25 | 7224,94 | 28,34 |
| Fuerte | 25-40 | 5352,10 | 20,99 |
| Muy Fuerte | 40-60 | 4673,95 | 18,33 |
| Abrupta | 60-100 | 3633,76 | 14,25 |
| Escarpada | >100 | 383,44 | 1,50 |

De acuerdo al mapa de pendientes podemos observar que las superficies planas se encuentran dispersas a lo largo del área de estudio, pero son poco representativas en comparación con los demás rangos de pendientes, dado que solo comprende el 3,67% en área. Se halla principalmente en la vereda Río Frío, asociado a la llanura de inundación del río con el mismo nombre.

Las pendientes suaves (3-10%) representan los 12,9% del municipio, localizadas principalmente al sureste del mismo. Este rango de inclinación del terreno se encuentra simultáneamente con las pendientes moderadas (10-25%) que ocupan el 28,34 %, y estas se pueden encontrar desde el casco urbano de Támesis (centro) hasta el Río Cartama (este y sur) y la quebrada la Guamo (al norte) en las veredas La Oculta, El Líbano, El Rayo, Pescadero y Corozal. Al oeste del municipio se puede encontrar en localizadas en las veredas El Tacón y Río Frío.

Por otra parte, las pendientes fuertes (25-40%) predominan al suroeste del municipio, en la Quebrada Tacón, aunque se halla una zona de pendiente alta con la misma dirección de la Quebrada Juntas; al sur en las veredas Betania y San Antonio, este tipo de pendientes ocupa el 20,99 % del área.

Las pendientes muy fuertes (40-60%) con un 18,33% del área y abruptas (60-100%) con un 14,25% de la zona cubierta, se hallan de forma simultánea, predominando hacia el sur del Municipio en las veredas Manzanares, Travesías, Cedeño parte alta, La Argentina y La Liboriana, también están al oeste del casco urbano en las veredas Campoalegre, Otrabanda y San Luis. En menor cantidad pero de igual forma presentes, se hallan pendientes muy fuertes al suroeste de la zona de estudio en cercanías al corregimiento de Palermo.

Finalmente se presentan las pendientes escarpadas (> 100%), ocupando tan solo el 1,50% del área, predominan en zonas limítrofes al suroeste, exactamente en la cabecera de la Quebrada La Virgen. También al Oeste de la zona urbana de Támesis en los nacimientos de aguas de la Quebrada San Isidro, Quebrada La Peinada, el Río San Antonio y la Quebrada Granja.

Tabla 3. Distribución de la variable rugosidad para el municipio de Támesis.

| Rangos | | Área (ha) | % Área |
|---------------------------|----------------|-----------|--------|
| Rugosidad Muy Alta | < 0.985 | 11895,74 | 46,50 |
| Rugosidad Alta | 0.985 – 0.99 | 2998,27 | 11,72 |
| Rugosidad Media | 0.99 – 0.995 | 3996,76 | 15,62 |
| Rugosidad Baja | 0.995 – 0.9975 | 2977,37 | 11,64 |
| Rugosidad Muy baja o Nula | 0.9975 – 1.0 | 3715,42 | 14,52 |

De acuerdo al mapa de rugosidad podemos observar que el municipio presenta una distribución predominante de muy alta, con un porcentaje de 46,40 % de área, esta se halla cubriendo casi la mitad del municipio. Hacia el sur del municipio, en las veredas Manzanares, Cedeño parte alta y La Betania. Además al Oeste de la cabecera municipal de Támesis se hallan franjas con dirección principalmente N-S NW-SE en la Vereda San Luis y Otrabanda, y en menor porcentaje pero de forma significativa se hallan estas en las veredas San Antonio, El Tacón y Río Frío. En el sector Noroeste se presentan algunas zonas con rugosidad muy alta, en la Vereda La Juventud, además de algunos sectores de las veredas San Nicolás, Santa Teresa, San Isidro y La Virgen, localizadas en los nacimientos de las Quebradas La Mica, La Virgen y La Yarumala. Por otra parte al Este de la zona urbana hay zonas puntuales y dispersas, como la que se halla entre el Río San Antonio, la Quebrada Támesis y la Quebrada El Volcán y finalmente al Este del casco urbano del corregimiento de Palermo.

La rugosidad alta, está directamente relacionada espacialmente con la muy alta, por lo tanto se presenta en franjas alrededor de esta, ocupando un área de 11,72%. La rugosidad media se halla dispersa a lo largo del municipio siguiendo la rugosidad alta, hacia el sur del municipio se presentan predominando en algunas zonas como alrededor del casco urbano del corregimiento de San Pablo.

La rugosidad muy baja con 14,52% de área predomina al Norte del municipio, en la vereda La Oculta, también se halla en gran porcentaje al Noreste del casco urbano de Támesis y del corregimiento de Palermo, con algo de rugosidad desde baja hasta muy alta, esta última en menor porcentaje. Cabe resaltar su presencia en el extremo Oeste, cerca al límite municipal en las veredas El Tacón y Río Frío, cerca al Río Frío. En estas mismas zonas pues se presentan juntas se halla la rugosidad baja que corresponde al 11,64% del área total del municipio.

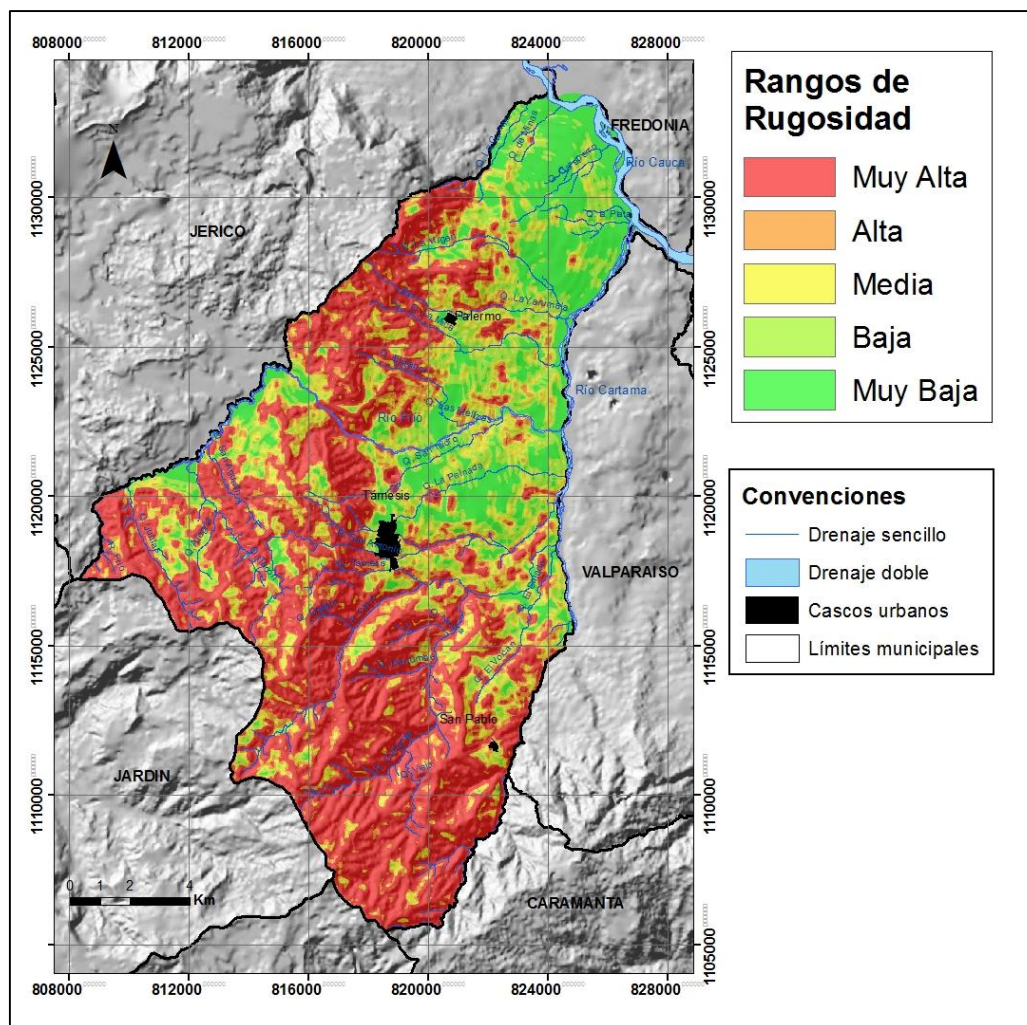


Figura 35. Mapa de rugosidad para el municipio de Támesis.

4.2.3. Curvatura

Variable asociada al grado de concavidad y convexidad espacial de la superficie; se calcula a partir del modelo de elevación digital del terreno para cada una de las celdas en un cuadrado de 25x25 celdas. Matemáticamente está asociado a las derivadas de segundo grado de la altitud, las cuales brindan información en términos de cambios positivos o negativos con respecto a las celdas adyacentes, lo que se interpreta en tendencias hacia la concavidad o convexidad de la superficie. Esta variable se relaciona con la susceptibilidad por movimientos en masa, ya que está asociada a la concentración o dispersión del drenaje superficial, que está directamente asociado con la saturación de las formaciones superficiales y el aumento de presión en los poros, el cual se hace mayor en superficies de morfología cóncava y menor en superficies convexas (CORANTIOQUIA-EAFIT, 2015^a).

En el mapa de curvatura se observa claramente que predominan las superficies cóncava con 48,79% y convexa 47,26%, ambas con porcentajes muy similares,

dado que se encuentran de forma sucesiva e intercalada a lo largo de todo el municipio, con franjas más anchas hacía el Noreste.

Similar al comportamiento entre las zonas cóncavas y convexas, se observan las muy cóncavas y muy convexas; las cuales se hallan relacionadas espacialmente y con porcentajes muy parecidos, 1,73 y 1,66 respectivamente. Aunque estos se hallan distribuidos por el municipio, cabe destacar su presencia en los nacimientos de la Quebrada La Virgen y La Quebrada La Guamo. También en nacimientos de fuentes de agua cerca a la Quebrada El Tabor, en la vereda Río Frío y parte de la vereda La Alacena. Al Este del casco urbano, entre las Quebrada San Agustín y Tacón, en cercanías a la Quebrada Juntas se observa la presencia de dicho tipo de superficies.

Finalmente las zonas planas las cuales representan solo el 0,56% del área total del terreno, se localizan cerca al límite noreste del municipio, relacionadas directamente con el Río Cartama. Se encuentran de forma dispersa, además se resaltan hacía al límite occidental del municipio con Jericó, en alrededores a Río Frío. En la siguiente tabla se presenta la distribución de la variable curvatura para el municipio Támesis (Figura 36).

Tabla 4. Distribución de la variable curvatura para el municipio de Támesis

| Rangos | Área (ha) | % Área |
|-------------|-----------|--------|
| Muy Convexo | 423,45 | 1,66 |
| Convexo | 12050,58 | 47,26 |
| Plano | 142,48 | 0,56 |
| Cóncavo | 12439,31 | 48,79 |
| Muy Cóncavo | 440,80 | 1,73 |

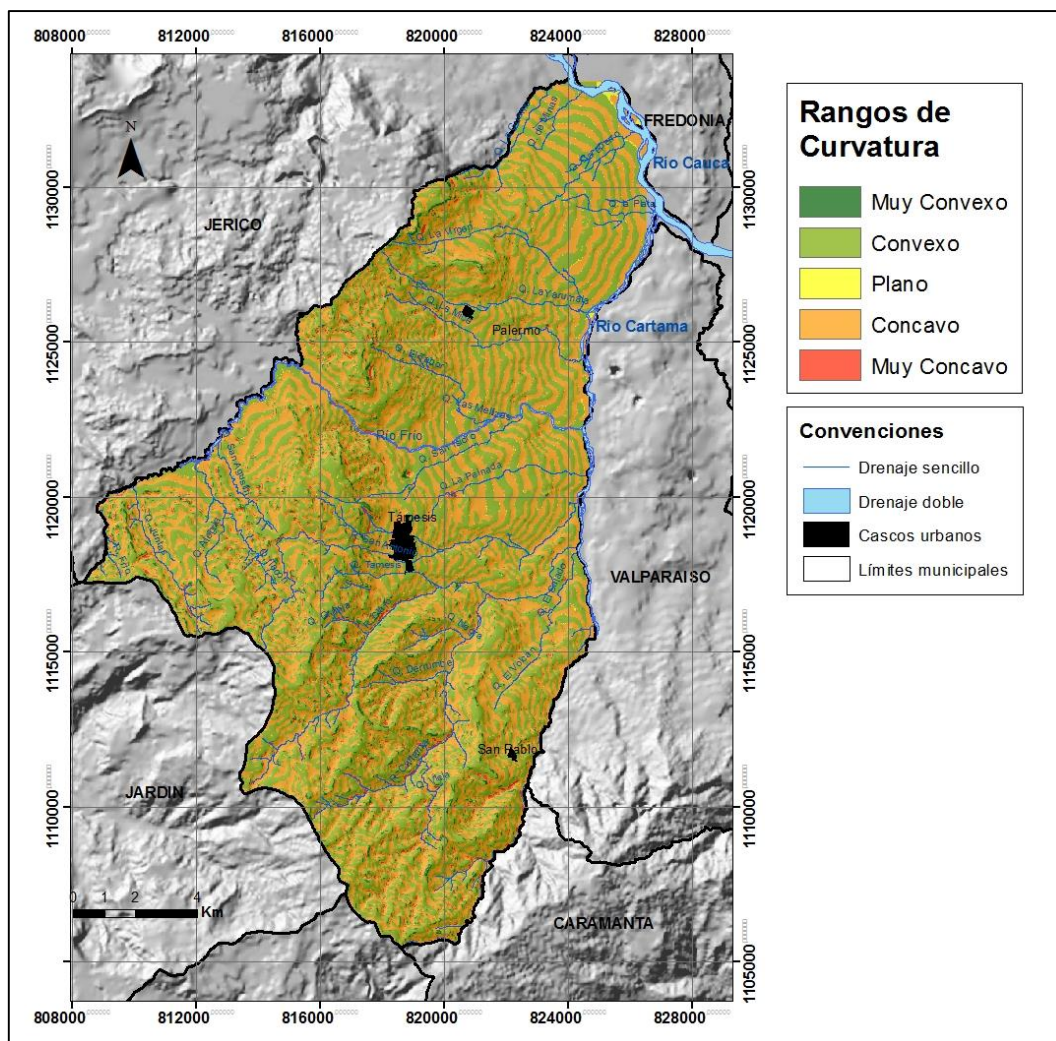


Figura 36. Mapa de curvatura del terreno para el municipio de Tamesis.

4.2.4. Relieve relativo

Se define como la diferencia entre la mayor elevación y la menor en una unidad determinada de superficie, cuya máxima diferencia se expresa en metros. Esta diferencia de altura se presenta con relación a un nivel base del terreno, midiendo su variación indiferente de su altura con respecto al nivel del mar. Esta variable está directamente relacionada con la resistencia de los materiales a nivel superficial, asociados a la recurrencia de eventos de inestabilidad en materiales más erosionados o en aquellos que por su resistencia desarrollan un relieve con intervalos de altura extremadamente altos y pendientes escarpadas y abruptas (CORANTIOQUIA-EAFIT, 2015^a). En la siguiente tabla se presenta la distribución de la variable relieve relativo para el municipio de Tamesis (Figura 31).

Tabla 5. Distribución de la variable relieve relativo para el municipio de Támesis.

| Calificación | Rangos (m) | Área (ha) | % Área |
|--------------|------------|-----------|--------|
| Muy bajo | 0-50 | 310,05 | 1,25 |
| Bajo | 50-100 | 2906,22 | 11,4 |
| Medio bajo | 100-200 | 10348,48 | 40,6 |
| Medio | 200-300 | 5853,64 | 22,95 |
| Medio alto | 300-400 | 3973,73 | 15,6 |
| Alto | 400-500 | 1722,56 | 6,8 |
| Muy alto | >500 | 382,25 | 1,5 |

De acuerdo al mapa de relieve de relativo las zonas que presentan menor diferencia de alturas con rangos de 0 a 50 m, están relacionadas a las unidades ligadas al río Cauca, al norte, y Río Frío al oeste con un porcentaje de área igual a 1,25%.

Las zonas con rangos bajos (50 a 100m) y medio bajos (100 a 200 m), con áreas de 11,4% y 40,6% respectivamente, siendo esta última la de mayor distribución en el Municipio, se localizan alternadas al este, desde la cabecera municipal hasta el río Cartama, pasando por las veredas La Oculta, El Líbano, Pescadero, El Tabor, San Isidro, El encanto, El Rayo y la vereda Corozal; y hacia el sur hasta la confluencia de la quebrada Támesis con el río Cartama.

Los rangos Medio (200 a 300 m) y Medio Alto (300 a 400 m) con una distribución de 22, 95 y 15,6 % respectivamente; se encuentran hacia el sur en las veredas La Betania, Cedeño Bajo y Alto, Manzanares, Travesías, Guayabal, La Argentina, La Liboriana, Campo Alegre, Piedramoler y La Florida; y hacia el oeste de la cabecera municipal, estos rangos se ubican inmediatamente en la zona del escarpe y al oeste del mismo, en las veredas Campo Alegre, Otrabanda San Luis, El Tacón y San Antonio.

Los rangos Altos (400 a 500 m) y Muy Altos (>500 m) con áreas 6, 8 y 1, 5% respectivamente, se localizan al sur del municipio en las veredas La Betania, Cedeño Bajo, Manzanares, Travesías, Guayabal, La Argentina, La Liboriana, Campo Alegre, Piedramoler y La Florida; y al occidente, estos rangos se ubican inmediatamente en la zona del escarpe en las veredas Campo Alegre, Otrabanda y San Luis.

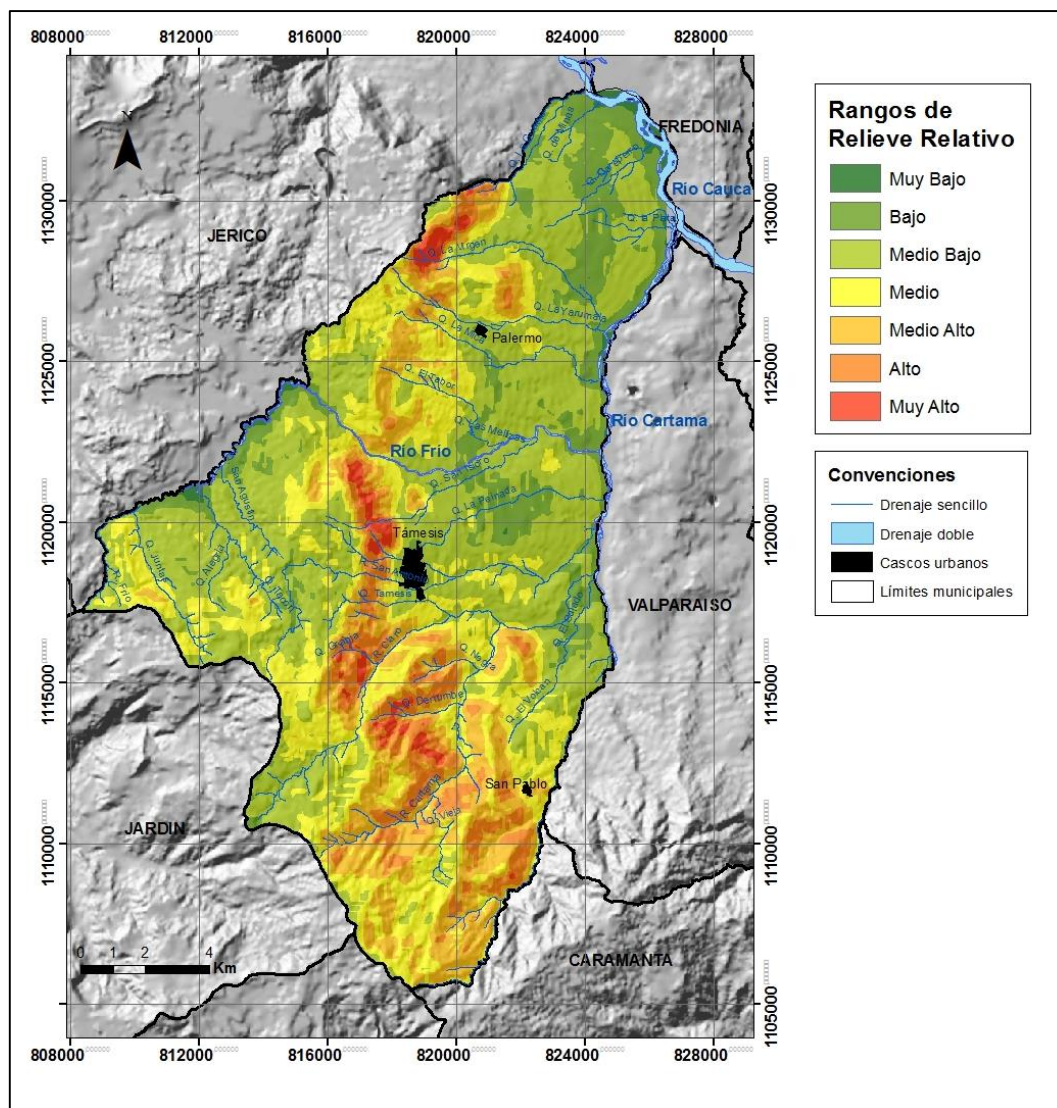


Figura 37. Mapa de relieve relativo para el municipio de Támesis.

4.3. GEOMORFOLOGÍA RURAL

De acuerdo con el esquema de jerarquización geomorfológica propuesto por CORANTIOQUIA (2002) en el municipio de Támesis, se definen dos unidades de relieve denominadas Cañón (del Río Cauca – San Juan) y Planicie de origen Volcánico (Combia), que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 6. Unidades de relieve y macrounidades del municipio de Támesis.

| Unidad de relieve | Macrounidad |
|--|-------------------------------|
| Cañón del río Cauca – San Juan (C1) | Con influencia volcánica (IV) |
| Planicie de origen volcánico de Combia (PVC) | |

Partiendo de estos rasgos regionales se delimitan las diferentes unidades geomorfológicas a escala 1:25.000 para el Municipio de Támesis, tomando como base el Glosario de Unidades Geomorfológicas del Servicio Geológico Colombiano (2012), el cual divide las unidades por el ambiente de formación, entre los cuales tenemos:

Ambiente Denudacional (D): Incluye las geoformas cuya expresión morfológica está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que remodelan y dejan remanentes de las unidades preexistentes y de igual manera, crean nuevas por la acumulación de sedimentos. En el municipio de Támesis el ambiente denudacional está intercalado con el ambiente estructural sin presentar un patrón claro, y son geoformas que responden principalmente a procesos de meteorización y erosión.

Ambiente Estructural (S): Incluye las geoformas que se originan por procesos relacionados con la dinámica interna de la tierra, asociados principalmente al plegamiento y el fallamiento de las rocas, cuya expresión morfológica es definida por la tendencia y la variación en la resistencia de las unidades. En el municipio, estas unidades están asociadas principalmente a la resistencia de los materiales y se localizan al occidente del municipio.

Ambiente Fluvial (F): Incluye las geoformas que se originan por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y por la acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de las corrientes perennes, durante la época seca. De esta manera, es posible encontrar unidades aledañas a ríos, quebradas y en el fondo de los cauces, cuyos depósitos son transportados y acumulados cuando éstas pierden su capacidad de arrastre. Estas unidades se localizan en los drenajes principales como el río Cauca, río Cartama y río Frío.

A continuación en la Figura 38 se muestra el mapa geomorfológico y se describen cada una de las unidades geomorfológicas identificadas:



Figura 39. Cerro remanente o relicto al sureste de la cabecera municipal.

4.3.1.2. *Cima (C1-IV_Dc)*: Superficie amplia convexa, dispuesta en franja alargadas. Presentan pendientes suaves con anchos de 400 metros, limitada por laderas cuya inclinación es fuerte a escarpada.

Esta unidad se localiza al sur de la cabecera municipal sobre un cerro remante o relicto. En esta unidad no se evidencian movimientos en masa activos pero se observan procesos erosivos tipo terraceta o pata de vaca por sobrepastoreo.

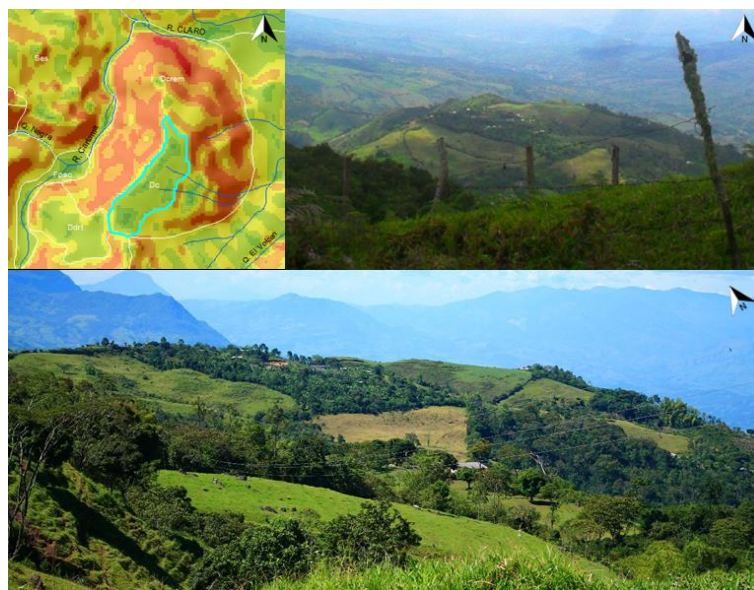


Figura 40. Cima al sureste de la cabecera municipal.

4.3.1.3. *Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (C1-IV_Dco)*: Estructura en forma de cono con morfología alomada baja, con un drenaje dicotómico característico. Su origen es relacionado a procesos de transporte y deposición de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidrogravitacionales en suelos saturados y no saturados. Su depósito está constituido por bloques y fragmentos heterométricos de rocas preexistentes.

Esta unidad se localiza al norteste del corregimiento de Palermo en la vereda La Oculta. En esta unidad no se evidencian movimientos en masa activos tipo

deslizamientos asociados a los drenajes de la unidad y se observan procesos erosivos tipo terraceta o pata de vaca por sobrepastoreo.

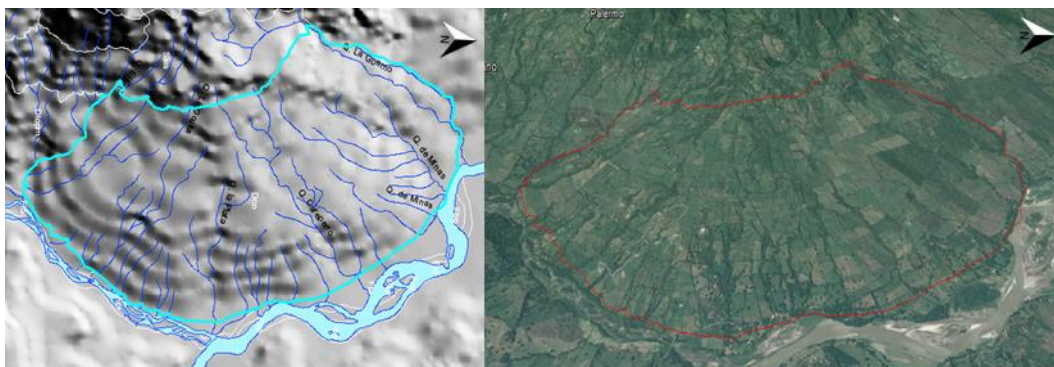


Figura 41. Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión al noreste del corregimiento de Palermo. a) Modelo de sombras con la delimitación de la unidad. b) Imagen de la unidad tomada de Google Earth.

4.3.1.4. Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional (C1-IV_Ddrt): Estructura en forma de lóbulo con morfología alomada baja, de longitud corta, irregular, con pendientes moderadas. Su origen es relacionado a la acumulación de tierra y bloques.

Esta unidad se localiza al sur de la cabecera municipal en la vereda Nudillales. En esta unidad se evidencian movimientos en masa activos tipo deslizamientos y se observan procesos erosivos tipo terraceta o pata de vaca por sobrepastoreo.

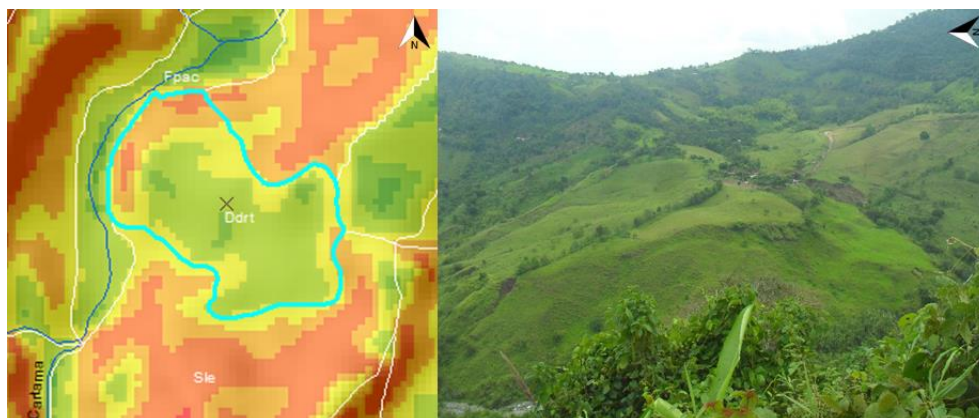


Figura 42. Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional. a) Mapa de pendientes con la delimitación de la unidad. b) Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional al sureste de la cabecera municipal.

4.3.1.5. Escarpe de erosión mayor (C1-IV_Deem): Ladera abrupta desplome de altura que puede formarse por procesos gravitacionales y eventualmente de longitud larga, recta, con pendiente abrupta a escarpada.

Por lo general, los escarpes de erosión mayor tienen patrón de drenaje paralelo y el grado de incisión es leve (< 5 m), y en algunos casos se generan salientes topográficas similares a pequeños lomos.

Estas unidades se localizan al occidente de la cabecera municipal y al norte del corregimiento de Palermo, en las veredas San Antonio, San Luis, Otrabanda y Campo Alegre y; La Virgen y la Oculta respectivamente. La roca ígnea que conforma el escarpe que limita el casco urbano al occidente exhibe un alto grado de diaclasamiento y a través de las grietas se desarrolla un proceso de meteorización que va conformando bloques aislados y predispuestos para caer en dirección de la cabecera urbana.

En esta unidad, en general, se evidencian movimientos en masa activos tipo deslizamientos traslacionales hacia el sur de la unidad.

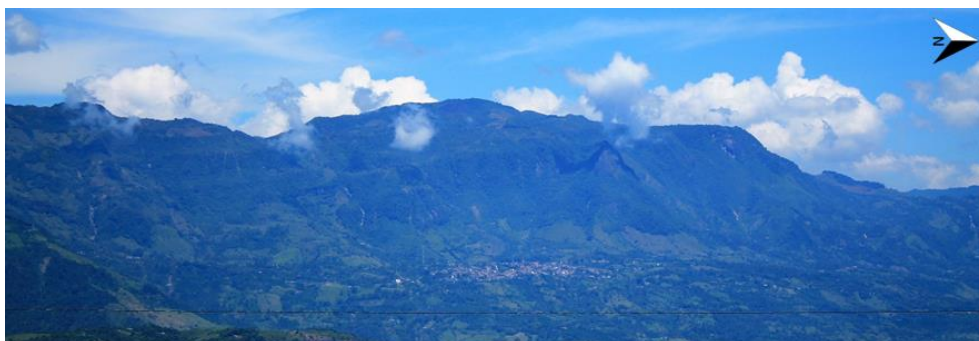


Figura 43. Escarpe de erosión mayor al occidente de la cabecera municipal.

4.3.1.6. Escarpe de erosión mayor disectado (C1-IV_Deemd): Ladera larga de pendiente muy fuerte a abrupta, con fuerte incisión.

Esta unidad se localiza entre las veredas La Alacena y San Nicolas, al norte de la cabecera municipal. En esta unidad se evidencian movimientos en masa activos y se observan procesos erosivos tipo terraceta o pata de vaca por sobrepastoreo.

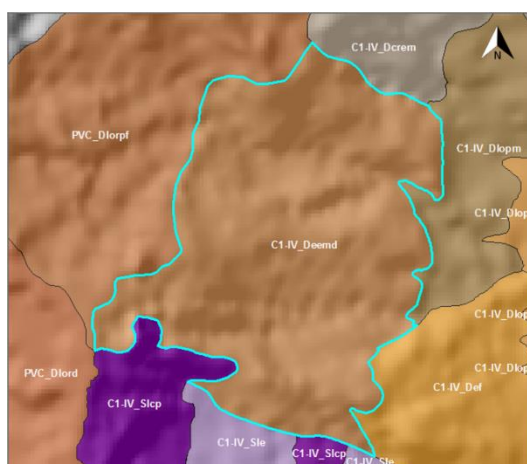


Figura 44. Escarpe de erosión mayor disectado al norte de la cabecera municipal.

4.3.1.7. Escarpe faceteado (C1-IV_Def): Superficie triangular o trapezoidal, de base amplia y tope angosto, con ladera de morfología alomada, cóncava de longitud moderadamente larga y pendientes fuerte escarpadas. Su origen es relacionado a procesos de erosión, incisión y movimientos en masa en laderas

relictas que aparecen en torno a relieves estructurales constituidos por materiales fracturados.

Esta unidad se localiza al sur del corregimiento de Palermo en la vereda La Alacena y no se evidencian movimientos en masa activos pero se observan procesos erosivos tipo terraceta o pata de vaca por sobrepastoreo.

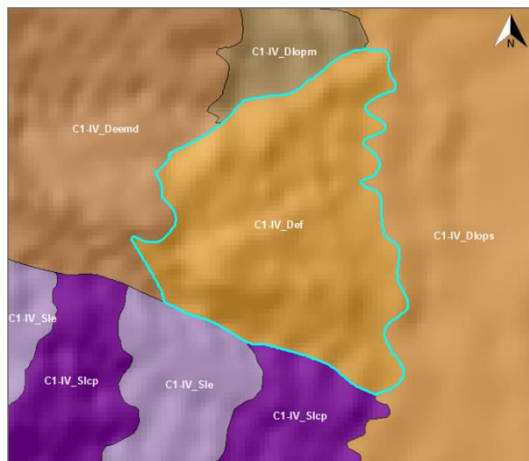


Figura 45. Escarpe faceteado en la vereda La Alacena.

4.3.1.8. Ladera ondulada (C1-IV_Dlo): Superficie en declive de morfología alomada o colinada, pendiente suave a moderada, la longitud varía entre corta y muy larga. El patrón de drenaje es subdendrítico a subparelo.

De acuerdo con las características específicas de la unidad se ha subdividido dependiendo de la pendiente y longitud de la misma, por este motivo podemos encontrar:

Ladera ondulada de longitud media (C1-IV_Dlalm): Esta unidad se localiza al norte del corregimiento de Palermo en la vereda La Virgen, se encuentra entre dos unidades escarpadas, con una suave ondulación. No se evidencian movimientos en masa activos pero se observan procesos erosivos tipo terraceta o pata de vaca por sobrepastoreo.



Figura 46. a) Ladera ondulada de longitud media. b) Imagen de la unidad tomada de Google Earth

Ladera ondulada de longitud larga (C1-IV_Dloll): Esta unidad se localiza al este de la cabecera municipal con una extensión hasta el Río Cartama, en ladera sobre la cual se encuentra localizada el casco urbano; al sur en la vereda La Mirla y al norte del corregimiento de Palermo, entre las veredas La Oculta y La Virgen.

En esta unidad se evidencian movimientos en masa activos tipo deslizamientos rotacionales y algunos flujos, y además se observan procesos erosivos tipo terraceta o pata de vaca por sobrepastoreo.



Figura 47. Ladera ondulada de longitud larga. A) Modelo de sombras con la delimitación de la unidad. B) Ladera ondulada larga al oriente de la cabecera municipal.

Ladera ondulada de pendiente moderada (C1-IV_Dlopm): Esta unidad se localiza en la vereda Río Frío, al sureste de Palermo entre las veredas El Líbano y La Oculta. Se evidencian movimientos en masa activos en estas unidades pero son más comunes en las márgenes de las quebradas que atraviesan esta unidad.

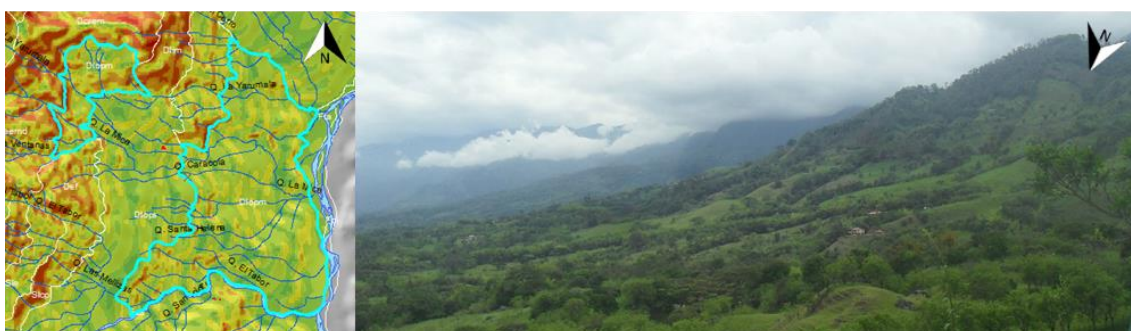


Figura 48. Ladera ondulada de pendiente moderada. A) Mapa de pendientes con la delimitación de la unidad. B) Ladera ondulada de pendiente moderada al suroriente del corregimiento de Palermo

Ladera ondulada de pendiente suave (C1-IV_Dlops): Esta unidad de forma elongada en dirección N-S con vertiente hacia el este, se localiza entre las veredas El Tabor, El Líbano y el casco urbano del corregimiento de Palermo. Presenta una ondulación suave con muy baja inclinación de la pendiente. Se evidencian movimientos en masa activos a lo largo de la vía principal (Palermo-

Támesis), en las márgenes de las quebradas y se observan procesos erosivos tipo terraceta o pata de vaca por sobrepastoreo.



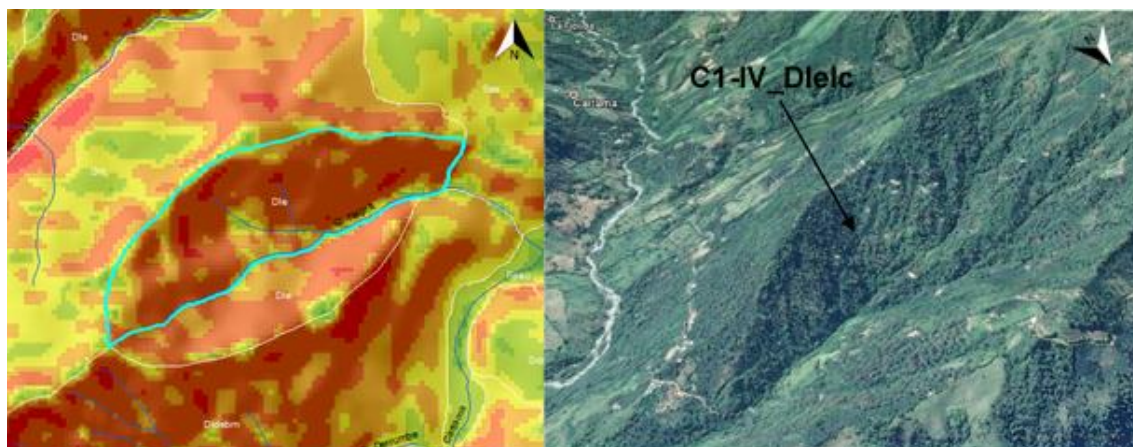
Figura 49. Ladera ondulada de pendiente suave. a) Mapa de pendientes con la delimitación de la unidad. b) Ladera ondulada de pendiente suave al norte de la cabecera municipal.

4.3.1.9. Ladera erosiva (C1-IV_Dle): Corresponde a superficies del terreno de pendientes fuerte a abrupta, de longitudes moderadas a largas, de formas planas, cóncavas y convexas, patrón de drenaje típico dendrítico a subparalelo. Presenta procesos erosivos intensos como cárcavas, surcos y soliflucción, sobre materiales de suelo residual. Estas laderas no necesariamente están asociadas a una geoforma mayor o una estructura.

De acuerdo con las características específicas de la unidad se ha subdividido dependiendo de la pendiente y longitud de la misma, por este motivo podemos encontrar:

Ladera erosiva de longitud media (C1-IV_Dlelm): Esta unidad se puede encontrar al sur de la cabecera municipal entre las veredas de Otrabanda y Río Claro, y en la vereda de Piedramoler en la vertiente norte de la quebrada La Negra. En esta unidad se evidencian movimientos en masa activos y se pueden observar algunos procesos erosivos tipo terraceta o pata de vaca por sobrepastoreo.

Ladera erosiva de longitud corta (C1-IV_Dlelc): Se localiza en la vereda Piedramoler en la vertiente sur de la quebrada La Negra, al sur de la cabecera municipal. En esta unidad se evidencian movimientos en masa activos y se pueden observar algunos procesos erosivos tipo terraceta o pata de vaca por sobrepastoreo.



4.3.1.10. Ladera irregular (C1-IV_Dli): Corresponde a superficies del terreno de pendientes fuerte a abrupta, de longitudes moderada a largas, de formas muy irregulares. Estas laderas no necesariamente están asociadas a una geoforma mayor o una estructura.

De acuerdo con las características específicas de la unidad se ha subdividido dependiendo de la pendiente y longitud de la misma, por este motivo podemos encontrar:

Ladera irregular de longitud larga (C1-IV_Dlill): Esta unidad se localiza al sur del municipio, entre las veredas Campo Alegre, La Matilde y Río Claro; y al occidente del corregimiento de San Pablo entre las veredas Cedeño Alto y La Florida. Se evidencian movimientos en masa activos tipo deslizamiento traslacional y flujos, además se observan procesos erosivos tipo terraceta o pata de vaca por sobrepastoreo.

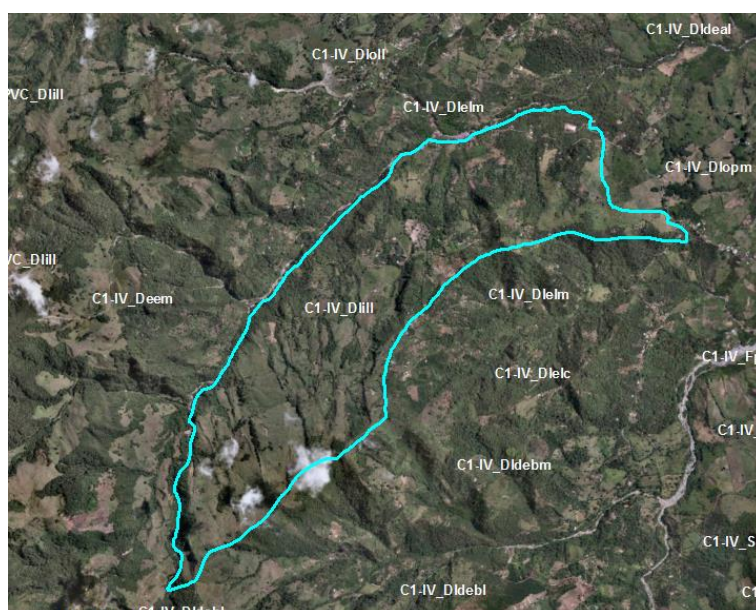


Figura 51. Ladera irregular de longitud larga localizada en las veredas Campo Alegre, La Matilde y Río Claro.

Ladera irregular de longitud media (C1-IV_Dlilm): Esta unidad se localiza al norte del municipio, al norte del corregimiento de Palermo entre las veredas Santa Teresa y La Virgen. En esta unidad no se evidencian movimientos en masa activos pero se observan procesos erosivos tipo terraceta o pata de vaca por sobrepastoreo.



Figura 52. Ladera irregular de longitud media. a) Modelo de sombras con la delimitación de la unidad. b) Imagen de la unidad localizada al norte del corregimiento de Palermo, tomada de Google Earth.

4.3.1.11. Lomo denudado bajo de longitud media (C1-IV_Dldebm): Son sistemas filos ubicados a diferentes alturas; con índice de relieve relativo menor que 250 m y el eje principal tiene una longitud entre 250 m y 1000 m; son formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal.

Estas unidades se localizan al suroeste del corregimiento de San Pablo, entre las veredas Cedeño Alto y Manzanares. En estas unidades se evidencian movimientos en masa activos como deslizamientos y además, se observan procesos erosivos tipo terraceta o pata de vaca por sobrepastoreo.



Figura 53. Lomo denudado bajo de longitud media. a) Modelo de sombras con la delimitación de la unidad. b) Lomo denudado bajo de longitud media al sur de la cabecera municipal.

4.3.1.12. Lomo denudado bajo de longitud larga escalonado (C1-IV_Dldebm): Esta unidad se localiza al occidente del corregimiento de San Pablo, en la vereda La Betania. Presenta una característica particular ya que se encuentra

escalonado (presenta un cambio de pendiente). En esta unidad se evidencian movimientos en masa activos tipo deslizamientos traslacional y además, se observan procesos erosivos tipo terraceta o pata de vaca por sobrepastoreo.

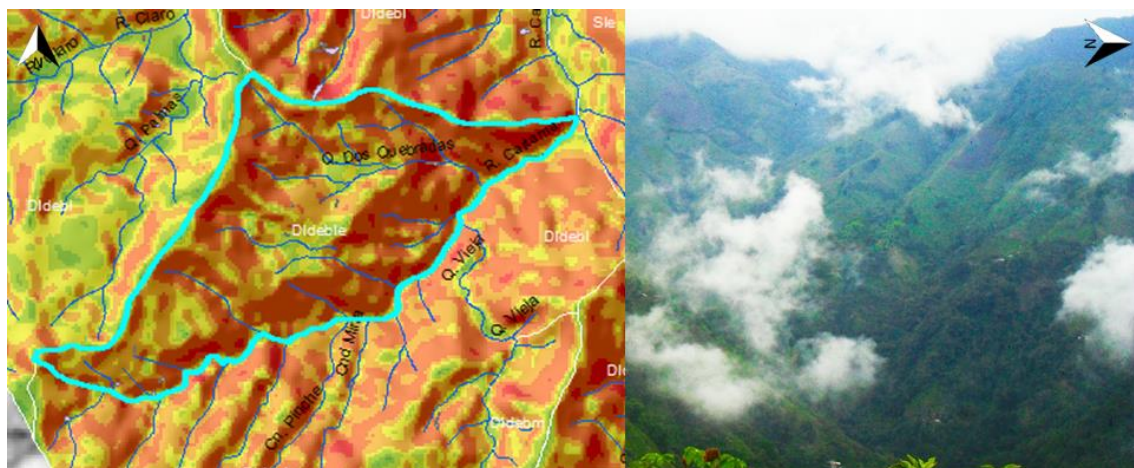


Figura 54. Lomo denudado bajo de longitud larga escalonado. a) Mapa de pendientes con la delimitación de la unidad. b) Lomo denudado bajo de longitud larga escalonado al occidente del corregimiento de San Pablo.

4.3.1.13. Lomo denudado bajo de longitud larga (C1-IV_Didebl): Son sistemas o conjuntos de lomos o filos ubicados a diferentes alturas; con índice de relieve relativo menor de 250 m y la longitud del eje principal es mayor que 1000 m; son formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal.

Son un conjunto de filos separados en su mayoría por sistemas de drenajes paralelos a subparalelos. Estas unidades se localizan al sur del municipio entre las veredas La Betania, Cedeño Alto, Manzanares, La Liboriana y parte de la Florida y La Argentina. En estas unidades se evidencia una gran cantidad de movimientos en masa activos tipo deslizamientos y flujos.

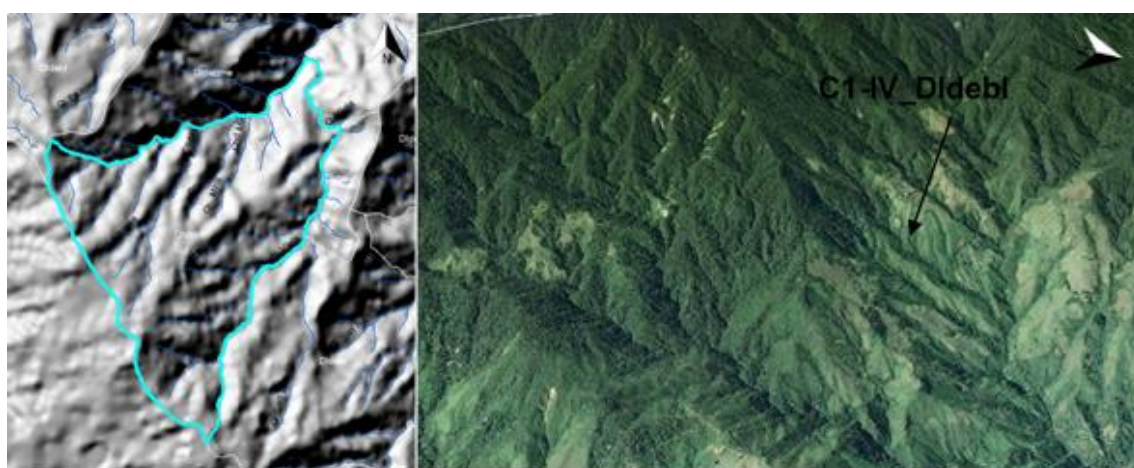


Figura 55. Lomo denudado bajo de longitud larga. a) Modelo de sombras con la delimitación de la unidad. b) Imagen de la unidad localizada al sur del municipio, tomada de Google Earth.

4.3.1.14. Lomo denudado alto de longitud larga (C1-IV_Dldeal): Son sistemas o conjuntos de lomos o filos ubicados a diferentes alturas; con índice de relieve relativo mayor que 1000 m y el eje principal tiene una longitud mayor que 1000 m; son formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal

Esta unidad se localiza al este de la cabecera municipal en las veredas Corozal y Pescadero, hacia la parte de corozal se encuentra cubierto por depósitos y hacia el Río Cartama aflora la Formación Amaga. En esta unidad se evidencian movimientos en masa activos y se observan procesos erosivos tipo terraceta o pata de vaca por sobrepastoreo.



Figura 56. Lomo denudado alto de longitud larga al este de la cabecera municipal.

4.3.1.15. Sierra denudada (C1-IV_Dsd): Prominencia topográfica de morfología montañosa y elongada de laderas largas, convexas, con pendientes muy fuerte a abruptas, donde prevalecen procesos de erosión o de movimientos en masa acentuados. Su origen es relacionado a procesos de erosión acentuada en sustratos rocosos ígneos y metamórficos.

Esta unidad se localiza al sur del corregimiento de San Pablo, entre las veredas Manzanares y Travesías. En esta unidad se evidencian movimientos en masa activos tipo deslizamientos traslacionales.

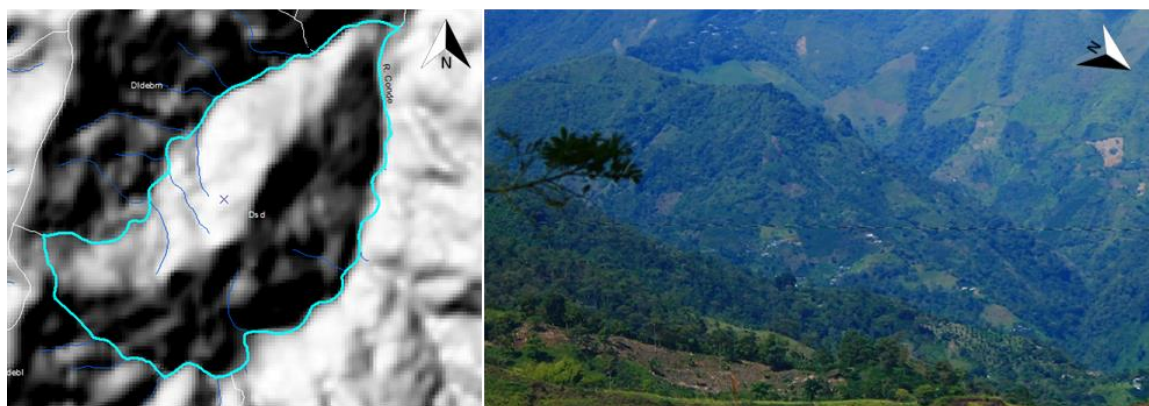


Figura 57. Sierra denudada. a) Modelo de sombras con la delimitación de la unidad.
b) Sierra denudada al sur del corregimiento de San Pablo.

4.3.1.16. Ladera contrapendiente (C1-IV_Slcp): Superficie en declive, de morfología regular, definida por estratos dispuestos en sentido contrario a la inclinación del terreno. De longitud moderada a larga y con pendientes fuerte a muy escarpadas. En esta geoforma no está asociada a ninguna estructura de tipo regional (anticlinal, sinclinal, monoclinal, entre otros).

Estas unidades se localizan hacia el suroccidente del municipio asociadas a la Formación Combia, en la vereda el Tacón, al occidente del corregimiento de San Pablo, en las veredas Guayabal y Cedeño Bajo; al noroccidente en las veredas La Alacena, El Hacha y El Tabor. En esta unidad se evidencian movimientos en masa activos.

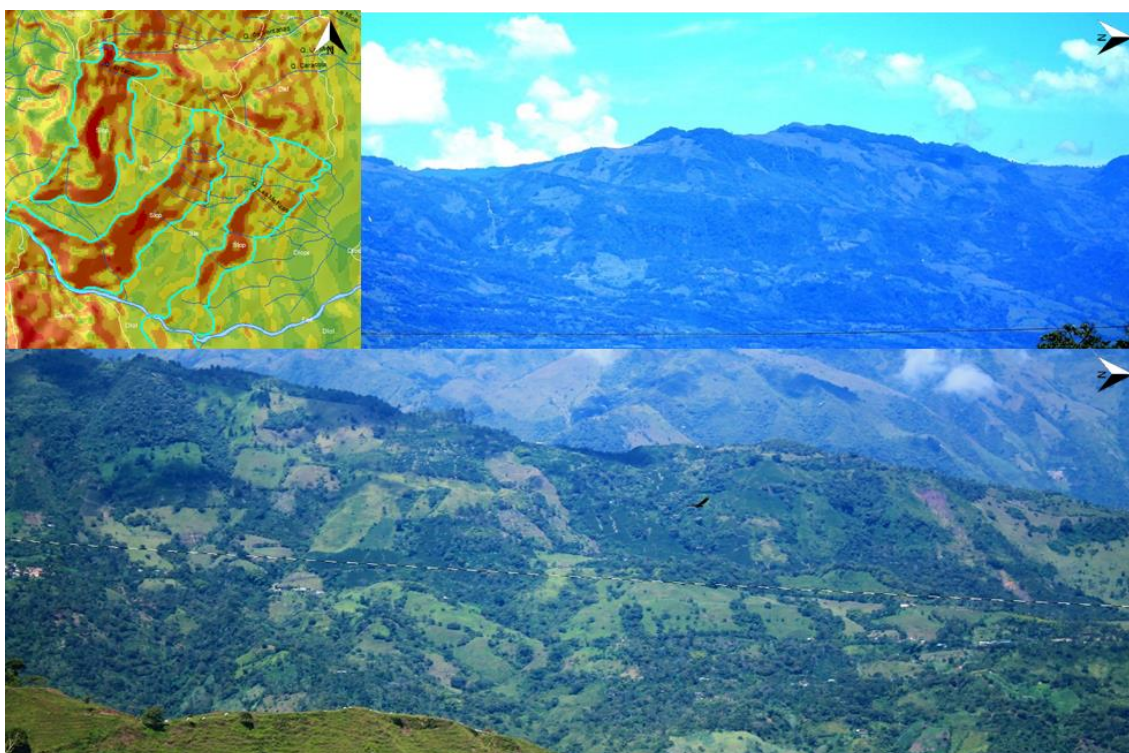


Figura 58. Ladera contrapendiente. a) Mapa de pendientes con la delimitación de la unidad. b) Ladera contrapendiente al noroccidente en las veredas La Alacena, El Hacha y El Tabor. c) Ladera contrapendiente al occidente del corregimiento de San Pablo.

4.3.1.17. Ladera estructural (C1-IV_Sle): Superficie en declive, de morfología regular a irregular, definida por planos preferentes de estratos a favor de la pendiente del terreno. De longitud moderada a larga y con pendientes moderadas a escarpadas. En esta geoforma no está asociada a ninguna estructura de tipo regional (anticlinal, sinclinal, monoclinal, entre otros).

Estas unidades se localizan al occidente del corregimiento de San Pablo, en las veredas La Florida y Cedeño Bajo; al noroccidente del Municipio en las veredas La Alacena y El Hacha. En esta unidad se asocia a la Formación Combia y se evidencian movimientos en masa activos.

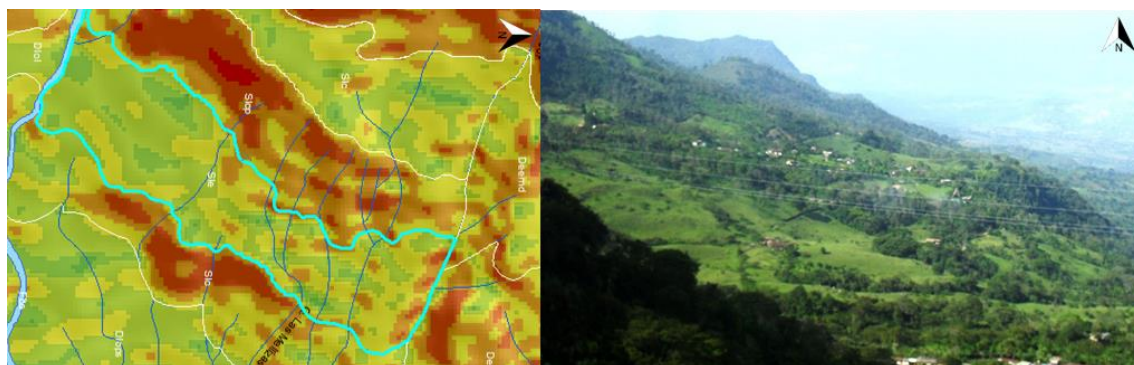


Figura 59. Ladera estructural. a) Mapa de pendientes con la delimitación de la unidad. b) Ladera estructural en la vereda La Alacena.

4.3.1.18. Ladera escalonada (C1-IV_Sles): Superficie definida por estratos dispuestos a favor o en contra de la pendiente del terreno con forma irregular, longitud larga y pendiente fuerte.

Esta unidad se localiza al noreste del corregimiento de Palermo en entre las veredas La Oculta y La Virgen. Esta unidad se asocia a la formación Combia y presenta movimientos en masa tipo deslizamientos.

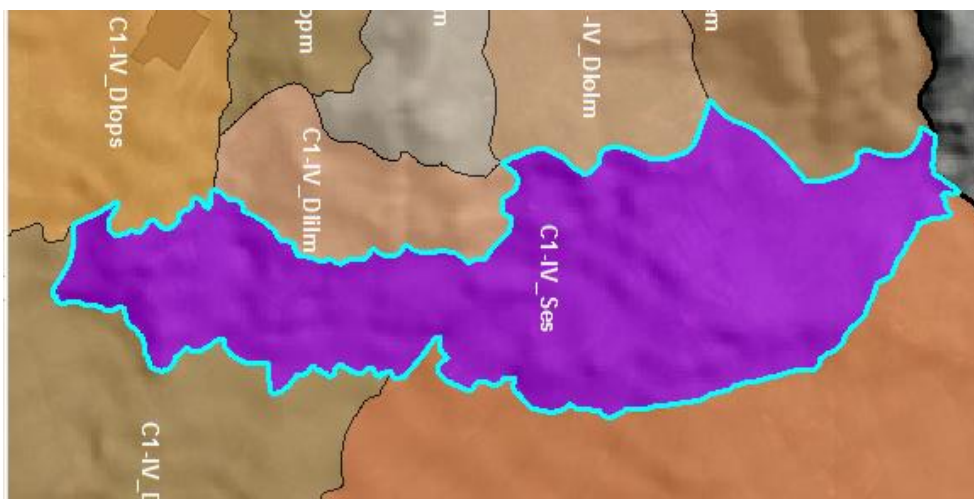


Figura 60. Ladera escalonada

4.3.1.19. Barra puntual (C1-IV_Fbp): Cuerpo en forma de medialuna de morfología suave ondulada, compuesta de crestas y artesas curvas de poca altura. Estos cuerpos se localizan en la parte cóncava de los meandros de los ríos, como producto de la acumulación de sedimentos erodados de la parte convexa del cauce. Su depósito está constituido por sedimentos generalmente arenosos finos y materiales arcillosos en las artesas. Cuando se dan procesos de migración lateral del cauce, la acumulación de este tipo de barras, pueden conformar conjuntos sencillos o complejos de oríllales. Estas unidades se localizan a largo del cauce del río Cauca y en algunos sectores del río Cartama.



Figura 61. Barra puntual asociada al río Cauca.

4.3.1.20. Barra longitudinal (C1-IV_Fbl): Cuerpo elongado en forma romboidal convexo en planta y, en superficie de morfología suave ondulada, dispuesto paralelo al centro de los cauces fluviales mayores, con la punta más aguda en la dirección de la corriente. Su origen es relacionado a la acumulación de sedimentos durante grandes inundaciones, que luego de disminuir el caudal, quedan como remanentes que dividen la corriente. Su depósito está constituido principalmente por arenas y gravas finas. Estas unidades se localizan a largo del cauce del río Cauca y en algunos sectores del río Cartama.



Figura 62. Barra longitudinal asociada al río Cauca.

4.3.1.21. Cauce aluvial (C1-IV_Fca): Canal de forma irregular excavado por erosión de las corrientes perennes o estacionales, dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales. Dependiendo de factores como pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal, pueden persistir por grandes distancias. Los cauces rectos se restringen a valles estrechos en forma de V, generalmente relacionados al control estructural de fallas o diaclasas. Estos cauces cuando recorren grandes distancias pueden formar lagunas y rápidos. Cuando las

corrientes fluyen en zonas semiplanas a planas (llanura aluvial), los cauces son de tipo meándrico o divagante, como producto del cambio súbito de la dirección del flujo. Dependiendo la cantidad de carga de sedimentos, la pendiente y caudal pueden llegar a formar sistemas anastomosados, trenzados, divergentes y otras unidades asociadas.

Esta unidad es definida para el cauce actual del río Cauca, localizado en el sector nororiental del municipio. También se puede definir esta unidad para los ríos Cartama al oriente y río Frío al occidente y centro de la zona de estudio.



Figura 63. a) Cauce aluvial asociado al río Frío. b) Cauce aluvial del río Cartama.

4.3.1.22. Planicie aluvial confinada (C1-IV_Fpac): Franja de terreno de morfología plana, muy angosta eventualmente inundable, en forma de “U”, limitada por otras geoformas de morfología colinada. Constituida por material aluvial (arenas, limos y arcillas). Esta unidad está asociada al río Cartama en confluencia con las quebradas Derrumbe y La Negra, en la vereda La Argentina al sur de la cabecera municipal.

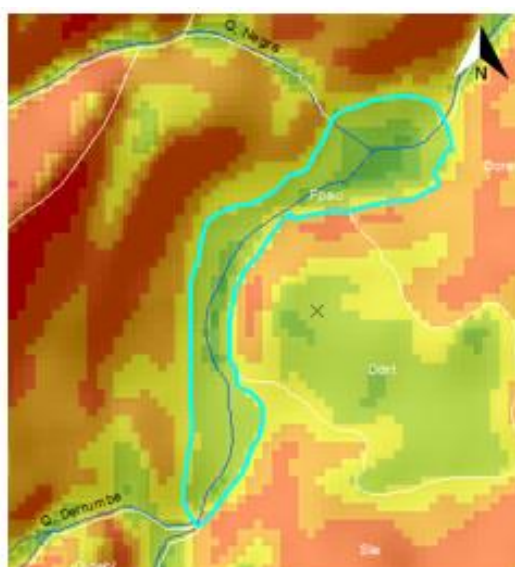


Figura 64. Planicie aluvial confinada asociada al río Cartama.

4.3.1.23. *Plano o llanura de inundación (C1-IV_Fpi)*: Superficie de morfología plana, baja a ondulada, eventualmente inundable. Se localiza bordeando los cauces fluviales, donde es limitado localmente por escarpes de terraza. Incluye los planos fluviales menores en formas de “U” o “V”, al igual que a los conos coluviales menores de los flancos de los valles intramontanos. En regiones montañosas, donde las corrientes fluviales tienden a unirse con sus tributarios para formar el cauce principal, en red de drenaje de tipo subparalelo de mediana densidad, se presentan como superficies estrechas, alargadas y profundas. Su depósito está constituido por sedimentos finos, originados durante eventos de inundación fluvial. Esta unidad está asociada al río Cartama y en ella no se evidencian movimientos en masa.



Figura 65. Llanura de inundación asociada al río Cartama, tomada de ortofotografías

4.3.1.24. *Terraza de acumulación (C1-IV_Fta)*: Superficie elongada, plana a suavemente ondulada, modelada sobre sedimentos aluviales, que se presenta en forma pareada, limitada por escarpes de diferente altura a lo largo del cauce de un río. Su origen es relacionado a procesos de erosión y acumulación aluvial, dentro de antiguas llanuras de inundación. Su formación incluye fases de acumulación, incisión y erosión vertical. Estas terrazas pueden ser parte de cauces rectos a meándricos. Su depósito está constituido por gravas arenas, limos y arcillas, con disminución del tamaño a medida que se aleja del cauce del río.



Figura 66. Terraza de acumulación asociada al río Cauca, tomada de ortofotografías.

4.3.2. Planicie de origen volcánico de Combia (PVC)

Son las unidades que genéticamente corresponde a una antigua zona volcánica muy diferente al que actualmente se presenta en el eje de la cordillera central, porque su origen está relacionado con una cuenca que permitió la acumulación de una espesa secuencia volcanosedimentaria. En esta unidad de relieve encontramos:

4.3.2.1. Cerro remanente o relicto (PVC_Dcrem): Prominencias topográficas morfología colinada que sobresalen de la topografía circundante. La unidad presenta cimas agudas, laderas de longitud moderadamente corta a larga de forma convexa. Su origen se asocia a procesos de erosión y meteorización diferencial acentuada y antigua.

Esta unidad se localiza al occidente de la cabecera municipal en la vereda Río Frío, en esta unidad no se observan movimientos en masa.

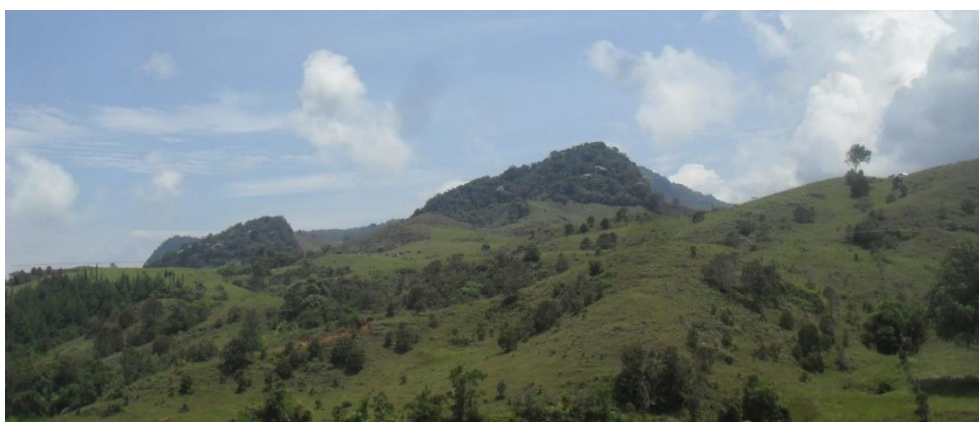


Figura 67. Cerro remanente o relicto asociado a la planicie de origen volcánico de Combia.

4.3.2.2. *Escarpe de erosión mayor (PVC_Deem)*: Ladera abrupta desplome de altura variable que puede formarse por la erosión. Eventualmente de longitud moderada de forma convexa, con pendiente muy fuerte a abrupta.

Esta unidad se localiza en la vereda San Antonio, en la margen norte del río San Antonio, en esta unidad se evidencian procesos morfodinámicos tipo deslizamiento.

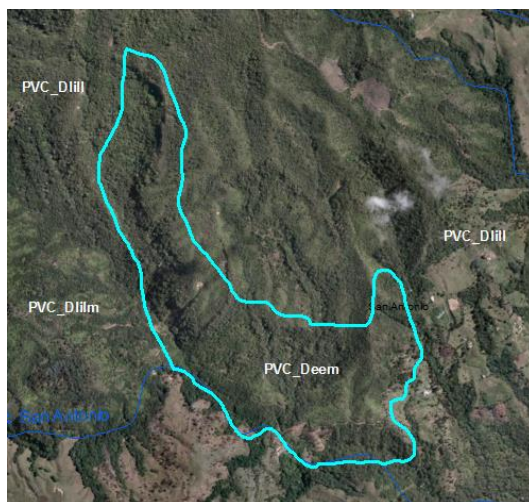


Figura 68. Escarpe de erosión mayor asociado al río San Antonio, tomada de ortofotografías.

4.3.2.3. *Escarpe de erosión menor (Deeme)*: Ladera abrupta o a desplome de longitud corta, de forma eventualmente recta, con pendiente muy fuerte a abrupta, originado por socavación fluvial lateral o por procesos de erosión y movimientos en masa remontantes a lo largo de un drenaje. Esta unidad se localiza al occidente el municipio en la vereda San Antonio en la margen sur del río con el mismo nombre, en esta unidad se observan fenómenos de movimientos en masa tipo deslizamientos traslacionales.

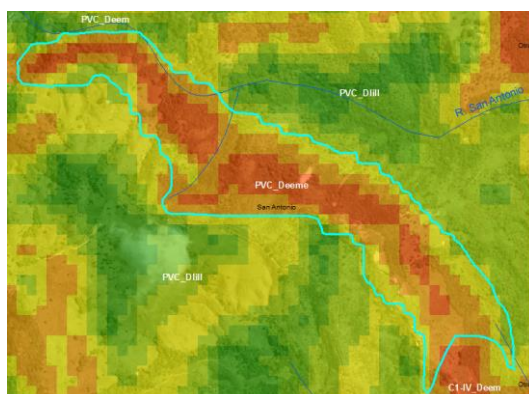


Figura 69. Escarpe de erosión menor asociado al río San Antonio (mapa de pendientes).

4.3.2.4. *Ladera erosiva (PVC_DIe)*: Corresponde a superficies del terreno de pendientes abruptas, de longitudes cortas a moderadas, de formas rectas a

irregulares, el patrón de drenaje generalmente es subparalelo. De acuerdo con su longitud se han definido 2 unidades que se describen a continuación

Ladera erosiva de longitud larga (PVC_Dlell): Estas unidades se localizan en la vereda Río Frío en la margen occidental de una quebrada; en esta unidad se observan movimientos en masa tipo deslizamientos.

Ladera erosiva de longitud media (PVC_Dlelm): Estas unidades se encuentra en la margen occidental de la quebrada en vereda Río Frío; en esta unidad se observan movimientos en masa tipo deslizamientos.

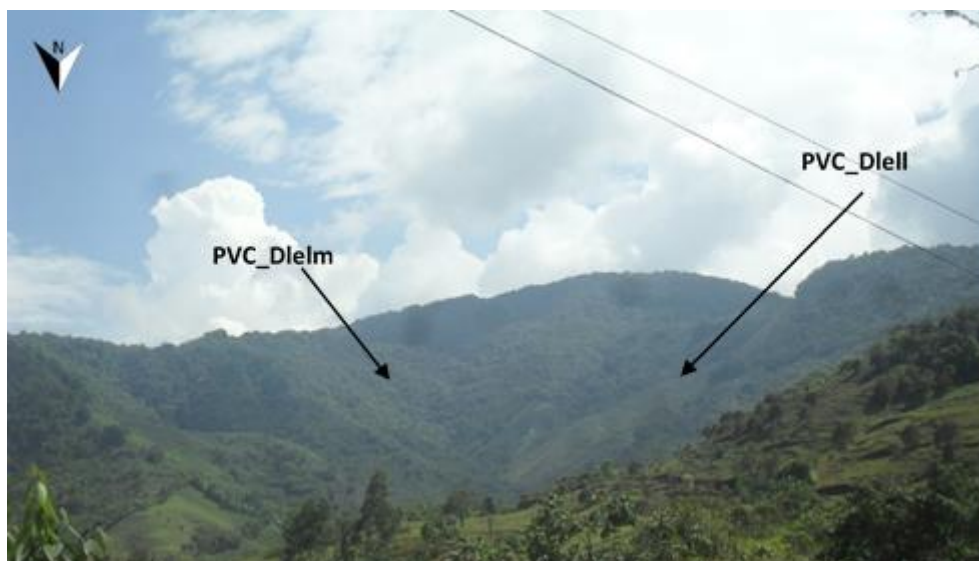


Figura 70. Ladera erosiva de longitud larga y ladera erosiva de longitud media, en las margenes izquierda de la parte media de la cuenca del Río Frío.

4.3.2.5. *Ladera irregular (PVC_Dli):* Corresponde a superficies del terreno de pendientes inclinadas a escarpadas, de longitudes cortas a largas, de formas muy irregulares, patrón de drenaje dendrítico a subparalelo; estas laderas no necesariamente están asociadas a una geoforma mayor o una estructura. De acuerdo con su longitud se han definido 2 unidades que se describen a continuación

Ladera irregular de longitud larga (PVC_Dlii): Esta unidad se localiza en la vereda San Antonio al occidente del municipio, en esta unidad se observan movimientos en masa activos.

Ladera irregular de longitud media (PVC_Dlim): Esta unidad se localiza entre las quebradas Minas, San Agustín y el río San Antonio, en la vereda San Antonio al occidente del Municipio. En esta unidad se evidencian movimientos en masa activos tipo deslizamientos.



Figura 71. Ladera irregular de longitud larga en la veredad San Antonio.

4.3.2.6. Ladera ondulada (PVC_Dlo): Superficie en declive de morfología alomada o colinada, pendiente inclinada a escarpada, la longitud varía entre corta y muy larga. El patrón de drenaje es subdendrítico a subparelo. Estas laderas se pueden formar en suelos residuales y depósitos coluviales. De acuerdo con su longitud y pendiente se han definido 2 unidades que se describen a continuación

Ladera ondulada de longitud larga (PVC_Dlo1): Esta unidad se localiza al occidente del Municipio en la vereda Río Frío; en esta unidad se observan movimientos en masa activos y fenómenos de procesos erosivos.



Figura 72. Ladera ondulada de longitud larga en la veredad Río Frío.

Ladera ondulada de pendiente moderada (PVC_Dlopm): Esta unidad se encuentra localizada al occidente del Municipio en la vereda Río Frío; en esta unidad se observan movimientos en masa activos y fenómenos de procesos erosivos



Figura 73. Ladera ondulada de longitud moderada en la veredad Río Frío.

4.3.2.7. Lomeríos poco disectados (PVC_Dlpd): Prominencias topográficas de morfología alomada o colinada, con cimas planas amplias y eventualmente redondeadas, de laderas muy cortas a cortas, de forma rectas, y eventualmente cóncavas y convexas, con pendientes inclinadas a muy abruptas, e índice de relieve muy bajo a bajo. En estos lomeríos los procesos de incisión son muy leves y generalmente estas unidades se encuentran en áreas centrales de altiplanos o alejados de los frentes erosivos. Son frecuentes procesos erosivos y reptación y eventualmente movimientos en masa tipo deslizamiento rotacional.

Esta unidad se localiza al noroeste del corregimiento de Palermo en la Vereda La Oculta. Se evidencian movimientos en masa activos y se observan procesos erosivos tipo terraceta o pata de vaca por sobrepastoreo.

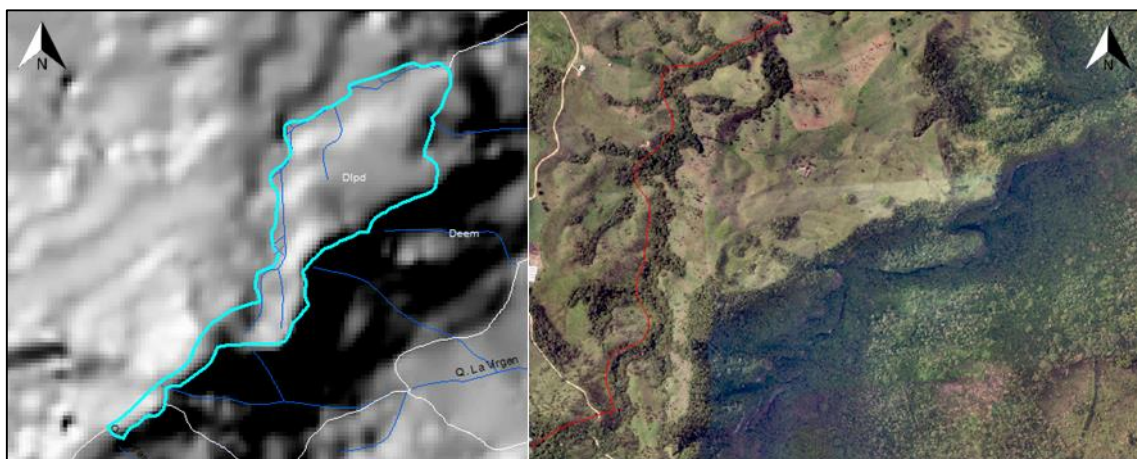


Figura 74. Lomeríos poco disectados. a) Modelo de sombras con la delimitación de la unidad. b) Imagen de la unidad localizada al noroccidente del corregimiento de Palermo, tomada de fotografías aéreas.

4.3.2.8. Lomo denudado bajo de longitud larga (Dldebl): Son sistemas o conjuntos de lomos o filos ubicados a diferentes alturas; con índice de relieve

relativo menor de 250 m y la longitud del eje principal es mayor que 1000 m; son formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal. El tope o parte superior puede tener diferentes formas dependiendo del grado de incisión del drenaje, el tipo de saprolito que ha desarrollado la roca dominante y de los procesos erosivos que lo han modelado. La inclinación y orientación del eje del lomo puede informar de procesos y velocidades de levantamiento del conjunto cordillerano o de la velocidad de la erosión del río principal o eje geomorfológico.

Esta unidad se localiza al sur de la cabecera municipal en la vereda la Betania, En esta unidad se evidencian movimientos en masa activos.



Figura 75. Lomo denudado bajo de longitud larga, tomada de ortofotografías.

4.3.2.9. Loma residual disectada (Dlord): Prominencia topográfica con una altura menor de 200 metros sobre su nivel de base local, con una morfología alomada y elongada de laderas moderada, convexas y pendientes moderada, constituida por suelo residuales, cubiertos por niveles de material coluvial. Su origen es relacionado a procesos intensos de meteorización y erosión diferencial.

Esta unidad se localiza en la vereda Río Frío a la margen derecha del río con el mismo nombre. En esta unidad se evidencian movimientos en masa activos y se observan procesos erosivos tipo terraceta o pata de vaca por sobrepastoreo.

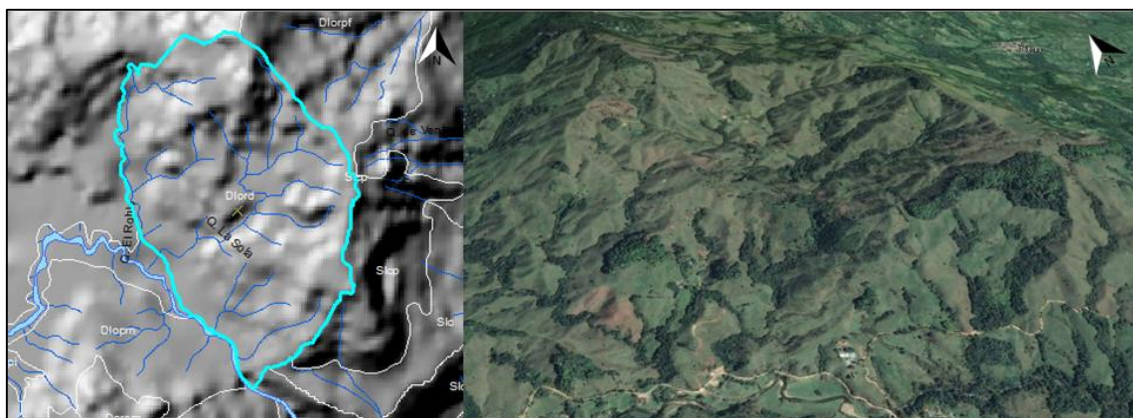


Figura 76. Loma residual. a) Modelo de sombras con la delimitación de la unidad. b) Imagen de la unidad localizada al occidente del municipio, tomada de Google Earth.

4.3.2.10. *Loma residual de pendiente fuerte (PVC_Dlorpf)*: Prominencia topográfica con una altura menor de 200 metros sobre su nivel de base local, con una morfología alomada y elongada de laderas moderada, convexas y pendientes fuerte, constituida por suelo residual.

Esta unidad se localiza al occidente del corregimiento de Palermo, en la vereda la Juventud. Es una unidad de lomas que presentan un fuerte grado de inclinación con marcada incisión. En esta unidad se evidencian movimientos en masa activos y se observan procesos erosivos tipo terraceta o pata de vaca por sobrepastoreo.

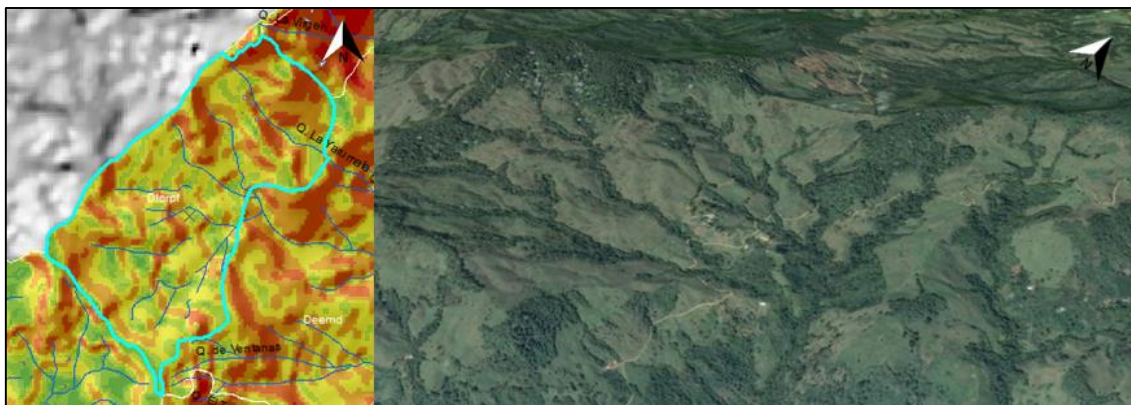


Figura 77. Loma residual de pendiente fuerte. a) Mapa de pendientes con la delimitación de la unidad. b) Imagen de la unidad localizada en la vereda La Juventud, tomada de Google Earth.

4.3.2.11. *Valle coluvio-aluvial (PVC_Dvca)*: Superficies elongadas, de dimensiones variables, de pendiente plana a suave, modelada sobre sedimentos aluviales, que se presenta en forma pareada, limitada por escarpes de diferente altura a lo largo del cauce de un río o quebrada. Su origen es relacionado a procesos de erosión y acumulación aluvial, dentro de antiguas llanuras de inundación. Su formación incluye fases de acumulación, incisión y erosión vertical.

Esta unidad se localiza al suroeste de la cabecera municipal en la vereda El Tacón, en algunas corrientes de agua que drenan hacia el Río Frío. Estos se encuentran asociados a las quebradas Juntas, El Tacón y La Tesalia. En esta unidad se evidencian movimientos en masa activos tipo deslizamientos y flujos.

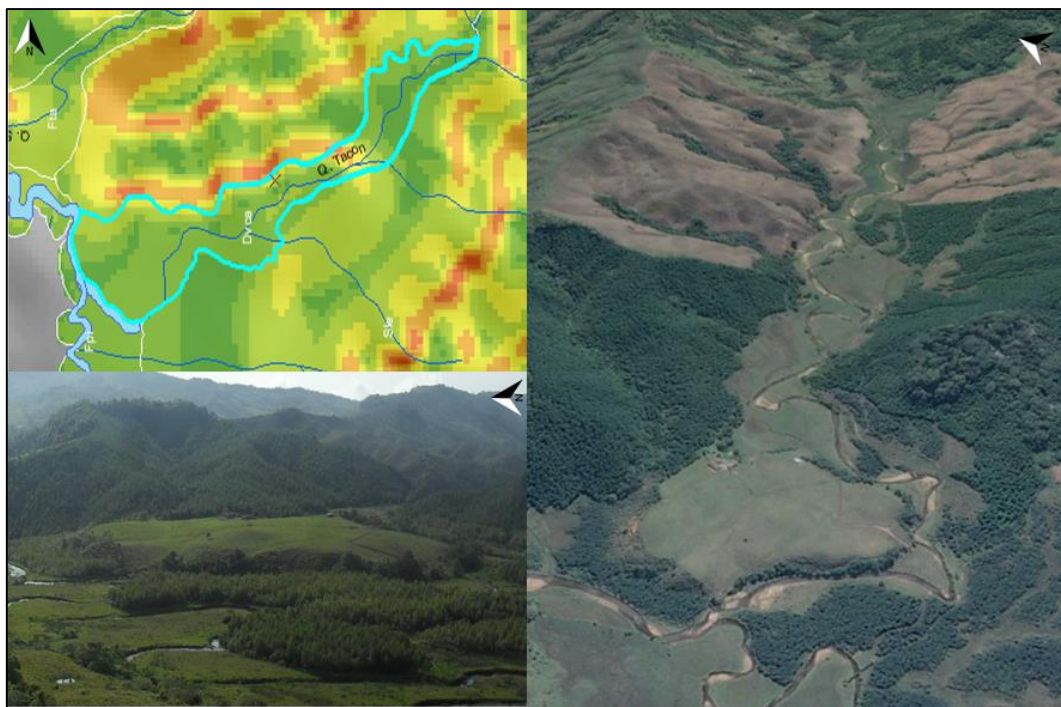


Figura 78. Valle coluvio-aluvial. a) Mapa de pendientes con la delimitación de la unidad. b) Frente de la unidad asociado a la quebrada El Tacón. c) Imagen de un valle coluvio-aluvial asociado a la quebrada El Tacón, tomada de Google Earth.

4.3.2.12. *Ladera estructural (PVC_Sle)*: Superficie en declive, de morfología regular a irregular, definida por planos de estratos a favor de la pendiente del terreno. De longitud larga a extremadamente larga y con pendientes moderadas a fuertes. En esta geoforma no está asociada a ninguna estructura de tipo regional (anticlinal, sinclinal, monoclinal, entre otros).

Estas unidades se localizan hacia el suroeste del municipio en la vereda el Tacón; en estas se evidencian movimientos en masa activos y se observan procesos erosivos tipo terraceta o pata de vaca por sobrepastoreo.



Figura 79. Ladera estructural localizada en la vereda El Tacón, a la margen este del Río Frío.

4.3.2.13. Ladera contrapendiente (PVC_Slcp): Superficie en declive, de morfología regular a irregular, definida por planos de estratos dispuestos en sentido contrario a la inclinación del terreno. Puede presentarse con longitud larga a extremadamente larga y con pendientes fuertes a escarpadas. En esta geoforma no está asociada a ninguna estructura de tipo regional (anticlinal, sinclinal, monoclinal, entre otros).

Estas unidades se localizan al suroeste del municipio en la vereda El Tacón, con una dirección NW-SW, con movimientos en masa activos tipo deslizamientos y procesos erosivos como terracetas.



Figura 80. Ladera de contrapendiente a la margen sur de la quebrada Juntas en la vereda el Tacón.

4.3.2.14. Espinazo disectado (PVC_Sed): Sierra simétrica o asimétrica, elongada de cresta aguda a redondeada. Esta unidad se localiza al occidente de la cabecera municipal entre las veredas El Tacón y San Antonio. Esta unidad presenta una forma elongada en dirección NW-SE con evidencia de algunos movimientos en masa activos.

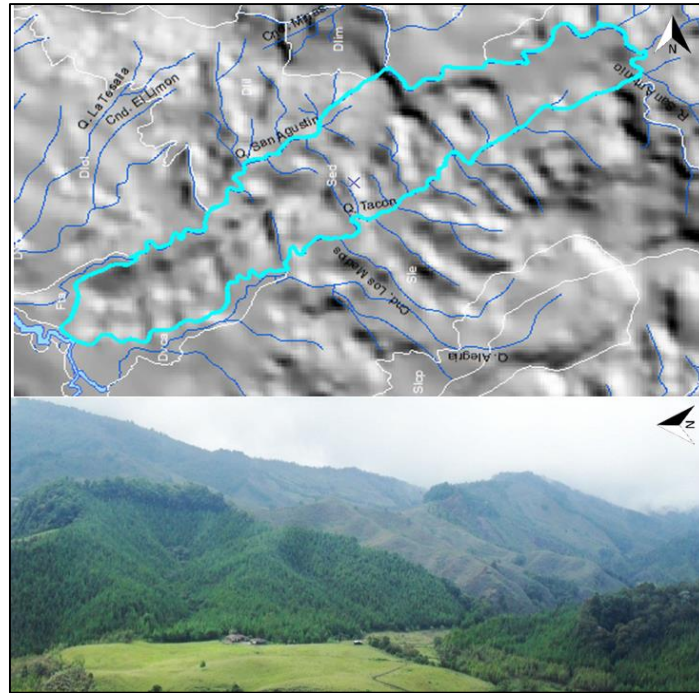


Figura 81. Espinazo disectado. a) Modelo de sombras con la delimitación de la unidad. b) Espinazo disectado entre las veredas El Tacón y San Antonio.

4.3.2.15. Plano o llanura de inundación (PVC_Fpi): Superficie de morfología plana, baja a ondulada, eventualmente inundable. Se localiza bordeando los cauces fluviales, donde es limitado localmente por escarpes de terraza. Incluye los planos fluviales menores en formas de “U” o “V”, al igual que a los conos coluviales menores de los flancos de los valles intramontanos. En regiones montañosas, donde las corrientes fluviales tienden a unirse con sus tributarios para formar el cauce principal, en red de drenaje de tipo subparalelo de mediana densidad, se presentan como superficies estrechas, alargadas y profundas. Su depósito está constituido por sedimentos finos, originados durante eventos de inundación fluvial.

La principal llanura de inundación identificada en el municipio de Támesis está asociada al Río Frío en el extremo occidental del municipio. En este sector también se encuentran una llanura de inundación asociada al Río Cartama.

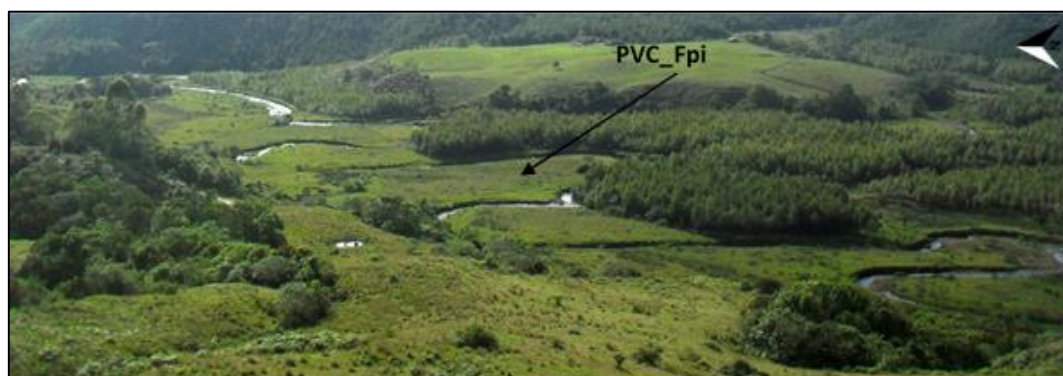


Figura 82. Plano o llanura de inundación asociado al Río Frío.

4.4. COBERTURA DEL SUELO

La cobertura de la tierra comprende todos los elementos que se encuentran sobre la superficie del suelo ya sean naturales o creados por el ser humano, es decir tanto la vegetación denominada cobertura vegetal, como todo tipo de construcción o edificación destinada al desarrollo de actividades para satisfacer las necesidades humanas; a lo cual en forma genérica se le denomina uso del suelo.

Partiendo del mapa de usos del suelo del municipio de Támesis presente en el EOT de 1999, se hizo algunos ajustes a los polígonos con ayuda de ortofotografías y trabajo de campo, sin embargo, se siguió utilizando la misma terminología.

La leyenda propuesta clasifica de manera jerárquica la cobertura y el uso de la tierra. Las coberturas se clasifican por unidades clases y tipos, las primeras diferenciadas por su naturaleza y por su apariencia exterior, es decir por características fisionómicas las cuales se desarrollan gracias a un ambiente propio y las últimas por cualidades o atributos que le son propios. Las unidades de cobertura presentes en el municipio de Támesis son: Vegetal y Construida y las unidades de uso del suelo son: Protección-conservación (bosque nativo), Recreación y Turismo (parcelaciones, lagos y lagunas), Rehabilitación ambiental (rastros altos y bajos), Producción Forestal (bosque plantado), Pastoreo (pastos no manejados, pastos manejados y mejorados), Agricultura (cultivos de frutales, café, cacao y caña) y Zonas Urbanas (cabecera municipal y los corregimientos de Palermo y San Pablo).

La Tabla 7 muestra la distribución espacial de los usos actuales del suelo en el municipio de Támesis de acuerdo al área que cada una de ellas ocupa, como se puede observar en el mapa de uso actual del suelo (Figura 83).

Tabla 7. Distribución del uso del suelo para el Municipio de Támesis

| Uso del suelos | Área (ha) | % Área |
|------------------------------|-----------|--------|
| Árboles Frutales (Cultivos) | 823,17 | 3,128 |
| Pasto manejado y mejorado | 191,27 | 0,727 |
| Rastrojo alto y bajo | 1825,32 | 6,937 |
| Cultivo de Cacao | 27,48 | 0,104 |
| Pastos no manejados | 15198,45 | 57,759 |
| Cultivos de Caña | 48,99 | 0,186 |
| Cultivos de Café | 4004,33 | 15,218 |
| Bosque nativo | 3938,13 | 14,966 |
| Bosque plantado | 120,16 | 0,457 |
| Bosque de galería | 85,54 | 0,325 |
| Cobertura construida | 23,64 | 0,090 |
| Lagos y Lagunas | 0,76 | 0,003 |
| Parcelaciones | 25,00 | 0,095 |
| Suelos Erosionados (Cantera) | 1,05 | 0,004 |

Como se observa en la tabla anterior las coberturas que poseen áreas representativas en el municipio de Tamesis son los bosques nativos, rastrojos altos y bajos, pastos nativos no manejados y cultivos de café; entre estos cuatro se encuentra el 94,88% del total del área.

4.4.1. Bosque Nativo: Esta cobertura se caracteriza por ser la menos intervenida del municipio y cumple una función fundamental en la producción y regulación hídrica, en la protección de suelos altamente susceptibles a la erosión y además sirve de hábitat para numerosas especies de flora y fauna nativa (EOT, 1999). El municipio de Tamesis cuenta con un total de 3938,13 ha de bosque nativo, correspondiendo al 14,96% del total del área, ubicada principalmente al sur y suroeste del municipio en las partes altas de las veredas Manzanares, Cedeño Alto, La Betania, San Antonio y El Tacón. El uso de estas zonas es generalmente de protección.

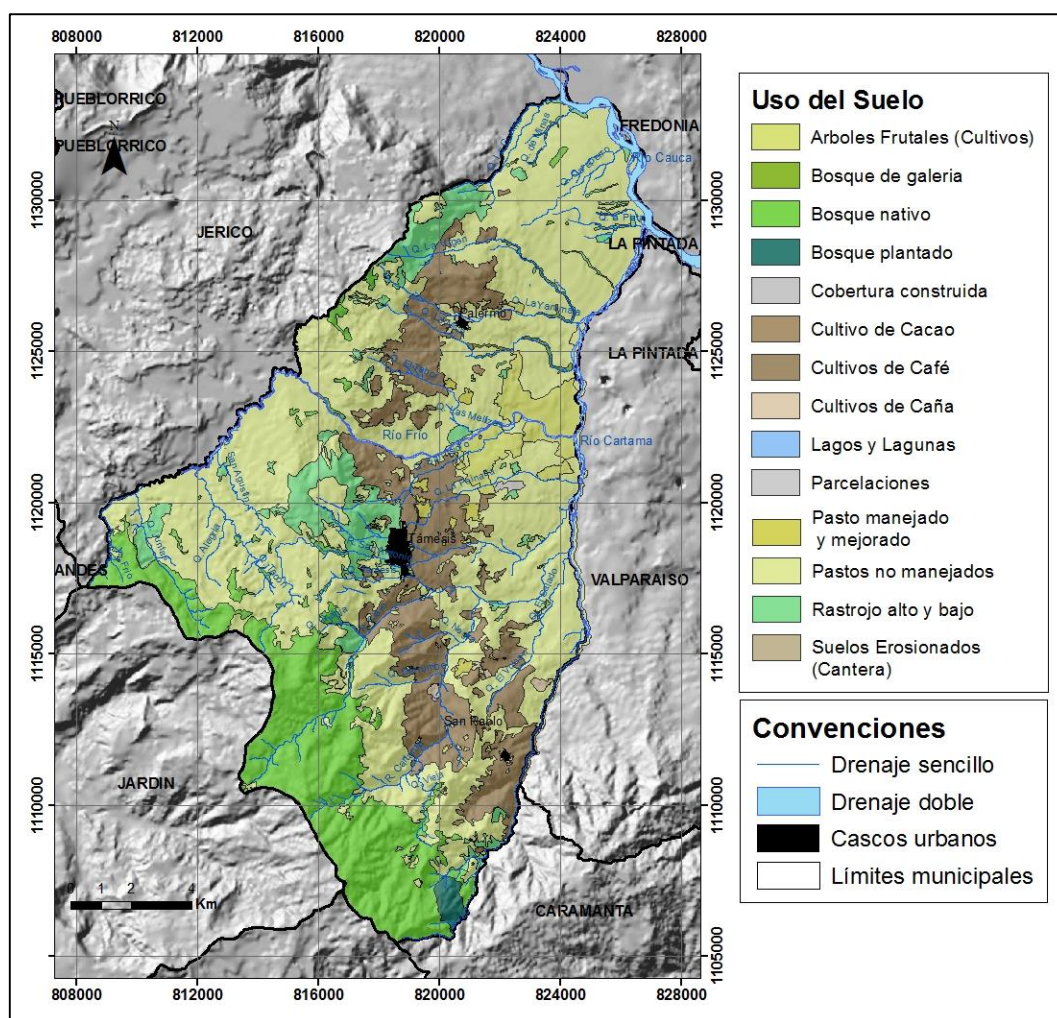


Figura 83. Mapa de usos del suelo para el municipio de Tamesis. Tomado y modificado del EOT (1999).

4.4.2. Bosque Plantado: Se trata de una plantación de la especie maderable foránea pino pátula (*Pinus pátula*) dedicada a la extracción y posterior comercialización, además cumple una función protectora del recurso suelo y de regulación y producción hídrica (EOT, 1999). En total son 120,16 ha que

equivalen al 0.45% del total del área del municipio, ubicándose en la parte alta de la vereda Cedeño Alto y El Tacón.



Figura 84. Cultivos de pino en la Vereda El Tacón.

4.4.3. Rastrojo alto y bajo: Están conformados por vegetación herbácea y arbustiva alta con algunas especies arbóreas bajas y de rápido crecimiento. De manera general esta unidad se encuentran distribuida en sectores poco o nada favorables para la actividad agropecuaria principalmente por las altas pendientes y por encontrarse en nacimientos y riveras de corrientes de agua (EOT, 1999). Presenta un área de 1825,32 ha que corresponde al 6.93% del total del área municipal.

4.4.4. Pastos nativos no manejados: Se trata del uso del suelo predominante del suelo en el municipio de Támesis con un total de 15198,45 ha que corresponden al 57.75% del total del área. Son extensiones de tierra dedicadas a pastizales nativos tales como la india, el mangón, el yaragua uribe, el puntero y la grama en las zonas bajas y las variedades yaragua, grama y kikuyo en las zonas altas; sin ningún tipo de manejo o con un manejo incipiente, esto es, los pastizales reciben básicamente control de malezas, labor mínima para mantener una ganadería (EOT, 1999).

4.4.5. Pastos manejados y mejorados: Se trata de pequeñas zonas dedicadas a la ganadería intensiva con manejo de pastos adecuados y densidades de ganado por hectárea altas (EOT, 1999). Esta unidad está actualmente en expansión, por la necesidad cada día mayor de integrar nuevas tierras a la actividad agropecuaria y suman un total de 191,27 ha correspondiendo al 0.72% del área del municipio de Támesis

4.4.6. Árboles frutales (Cultivos): Se trata de cultivos de árboles frutales especialmente dedicados a cítricos con altos niveles de tecnificación y uso de sistemas de riego que garantizan altos niveles de productividad y un aprovechamiento adecuado de los recursos de suelo y agua, cultivándose especies tales como Naranja Valencia, Tangelo Mineola, Tangelo Orlando, Mandarina Oneco y Limón Tahití, recientemente se realizan ensayos con

Naranja Salustiana y mandarina Clementina (EOT, 1999). Dichos cultivos cubren un área de 823,17 ha que equivalen al 3,12% del total del municipio y son los de mayor crecimiento en área.

4.4.7. Bosque de Galería: Estos bosques se localizan en las márgenes de las quebradas como protección de la red hídrica en las zonas más secas del municipio. Estos bosques ocupan 85,54 ha del área del municipio que equivalen al 0.325%.

4.4.8. Cultivos de Café: El 15,21% del total del área del municipio se encuentra utilizada en cultivos de café, según la fotointerpretación correspondiendo a 4004,33 ha. Esta área corresponde al total de la zona en donde predomina el cultivo de café, puesto que se presentan asociados a esta actividad cultivos de plátano, vegetación protectora en nacimientos y corrientes de agua, pastos, construcciones y otros usos. Se presenta fundamentalmente en pequeñas y medianas propiedades ubicadas entre las cotas 1400 msnm y 1800 msnm, con temperaturas promedio de 20°C a 24°C (EOT, 1999).



Figura 85. Cultivos de café en la Vereda Santa Teresa.

4.4.9. Cultivos de Caña: En la actualidad se encuentran 48,99 ha cultivadas en caña de azúcar que representan el 0.18% del total del área del municipio de Támesis, según la fotointerpretación efectuada en el transcurso del EOT (1999). Esta actividad ha disminuido en el municipio. Se argumenta para tal disminución razones tales como la alta demanda de mano de obra que requieren dichos cultivos, la compra de predios con fines de recreo, la expansión de la ganadería, los bajos rendimientos causados por el carbón de caña, las cepas viejas y el mal beneficio. Los cultivos de caña se encuentran entre las cotas de 700 msnm y 1000 msnm en las veredas situadas en la cuenca del río Conde (EOT, 1999).

4.4.10. Cultivos de Cacao: El municipio de Támesis cuenta con 27,48 ha cultivados en cacao que corresponden al 0.10% del total del municipio, según datos arrojados por la fotointerpretación efectuada en el transcurso del Plan de

Ordenamiento Territorial. Las zonas adecuadas para la implementación de los cultivos de cacao se ubican entre los 700 msnm y 1300 msnm (EOT, 1999).

4.4.11. Parcelaciones: Se trata de pequeñas zonas que se han parcelado con fines turísticos (parcelas de recreo) de las cuales la Parcelación Caminos de Cartama es la que presenta una mejor estructura en cuanto a servicios públicos y vías de transporte (EOT, 1999). En la actualidad el municipio cuenta con 25 ha con dicho uso correspondiendo al 0.095% del total de su área.

4.4.12. Lagos y lagunas: Se trata de pequeños lagos artificiales y algunas lagunas naturales que se encuentran en sitios de empozamiento en donde la ladera cambia de pendiente y se represa agua. Además de poseer alta belleza paisajística son aprovechadas para el cultivo de peces, truchas en las zonas frías y tilapia roja y cachama en las zonas cálidas (EOT, 1999). En total suman un área de 0,76 ha equivalente al 0.003% del total del municipio.

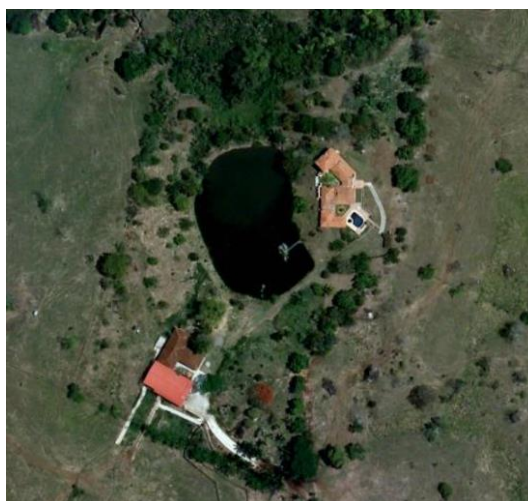


Figura 86. Laguna en la vereda La Oculta.

4.4.13. Suelos erosionados (Canteras): Una pequeña cantera ubicada en la carretera que une a la cabecera municipal con el corregimiento de San Pablo cercana a la quebrada La Negra utilizada para la extracción de balastro para el afirmado de vías municipales, presenta un área de 1,05 ha (EOT, 1999).



Figura 87. Cantera en la vía Támesis – San Pablo.

4.4.14. Cobertura construida: Corresponde al sector urbanizado de la cabecera municipal y los corregimientos de Palermo y San Pablo. Las Zonas urbanas se caracterizan por cumplir una función urbana y de prestación de servicios.



Figura 88. Corregimiento de Palermo

4.5. MORFODINÁMICA

Estos procesos se distribuyen sobre toda la extensión del municipio, sin embargo, se tiene mayor concentración de movimientos en masa hacia el sur del mismo. En general, los movimientos en masa identificados están relacionados con el saprolito del stock de Támesis y La Formación Combia, como principales unidad litológicas presente en el municipio.

Estos procesos fueron cartografiados con ayuda de los sensores remotos y con el levantamiento en el trabajo de campo. Para el municipio se tiene un registro de 475 movimientos en masa que suman un área afectada de 40,75 ha; de la cual el 85% del área afectada es por deslizamientos, correspondiente a 443 deslizamientos, de los cuales 343 son deslizamientos traslacionales (62 % del

área afectada) y 100 son deslizamientos rotacionales (23,24% del área afectada). El 15% del área afectada restante está representada por 32 movimientos en masa tipo flujos, de los cuales 18 son flujos de tierra, 13 son flujos indeterminados y 1 es un flujo de detritos (8,12%, 6% y 0,63 del área afectada respectivamente). En la tabla 8 y Figura 97 se muestra la distribución de los movimientos en masa.

Tabla 8. Distribución de movimientos en masa (MM).

| Subtipo de MM | # MM | Área Afectada (ha) | % Área Afectada |
|----------------------------|------|--------------------|-----------------|
| Deslizamiento Rotacional | 100 | 9,47 | 23,24 |
| Deslizamiento Traslacional | 343 | 25,27 | 62,01 |
| Flujo de detritos | 1 | 0,25 | 0,63 |
| Flujo de Tierras | 18 | 3,30 | 8,12 |
| Flujo Indeterminado | 13 | 2,44 | 6,00 |

Los diferentes tipos de procesos se encuentran asociados a los grados de meteorización identificados como VI, V y IV según Dearman (1974), adicionalmente las superficies de falla están principalmente, relacionadas a las zonas de contacto de los suelos residuales y la roca meteorizada o saprolito (grado VI y V).

Los movimientos en masa tipo deslizamientos se encuentran distribuidos por todo el municipio desde las zonas más altas hasta las más bajas, no obstante, los procesos localizados hacia el sur de la cabecera municipal (en las veredas La Betania, Cedeño Alto y Bajo, Manzanares, entre otras) son en mayor recurrencia deslizamientos traslacionales; y hacia las veredas La Mirla y La Pastora se presenta la concentración de deslizamientos rotacionales.

A continuación se muestra algunos procesos morfodinámicos presentes en el municipio de Támesis.



Figura 89. Deslizamientos traslacionales en la Vereda La Betania y deslizamiento traslacional asociado a la quebrada San Bartolo en la vereda Manzanares (áreas superiores a 1600 m²). Tomado de ortofotografías.



Figura 90. Deslizamientos traslacionales en la Vía Támesis - Río Frío y deslizamiento traslacional en la vereda Nudillales.



Figura 91. Deslizamientos traslacionales en la vereda Santa Teresa al oeste del corregimiento de Palermo.



Figura 92. Deslizamiento traslacional en la vía Támesis – San Pablo, asociado al corte del talud en suelo residual de la Formación Combia.



Figura 93. Deslizamiento rotacional asociado a las márgenes de la quebrada El Volcán en la vereda La Pastora.



Figura 94. Deslizamiento traslacional en roca meteorizada de la formación Combia en la Vereda Nudillales

Los movimientos en masa tipo flujos están asociados, en su mayoría, a un evento de deslizamiento y a diferencia de estos, presentan una distribución más sesgada, dado que estos se localizan hacia el sur del municipio en las veredas La Betania, Cedeño Alto, Manzanares, La Liboriana y Campo Alegre; y hacia el oeste del municipio en la vereda El Tacón.



Figura 95. Flujo de tierra asociado a un deslizamiento rotacional en la vereda El Tacón y flujo de tierra asociado a un deslizamiento traslacional en la Vereda Manzanares (áreas superiores a 1600 m²). Tomado de ortofotografías.

Como los procesos erosivos y los fenómenos fluviotorrenciales no hacen parte de la clasificación de movimientos en masa, no se tuvieron en cuenta para el modelo, sin embargo, estos fenómenos están presentes en el Municipio. Los procesos erosivos como terracetas o caminos de vacas son frecuentes en las zonas de pendientes moderadas a suaves (desde la cabecera municipal hasta el río Cartama y hacia el oeste en las veredas el Tacón y Río Frío en menos proporción), en usos de suelos para ganadería; en algunos sectores es tan intensa la erosión que se ha perdido la cobertura vegetal dejando descubierto el suelo. Los fenómenos fluviotorrenciales han afectado gran parte del Municipio, registro de estos son los depósitos presentes en de la zona de estudio, en general asociado a las quebradas que bajan desde las zonas altas y lo atraviesan oeste-este.



Figura 96. Procesos erosivos con el suelo desprovisto de vegetación y caminos de vacas en la vereda La Oculta (Tomada de ortofotografías) y El Líbano.

Entre los factores asociados a los movimientos en masa se presenta los naturales como la lluvia y el tipo de suelo residual, y en los factores antrópicos se relaciona el uso del suelo inadecuado al igual que los corte hechos en la apertura de vías.

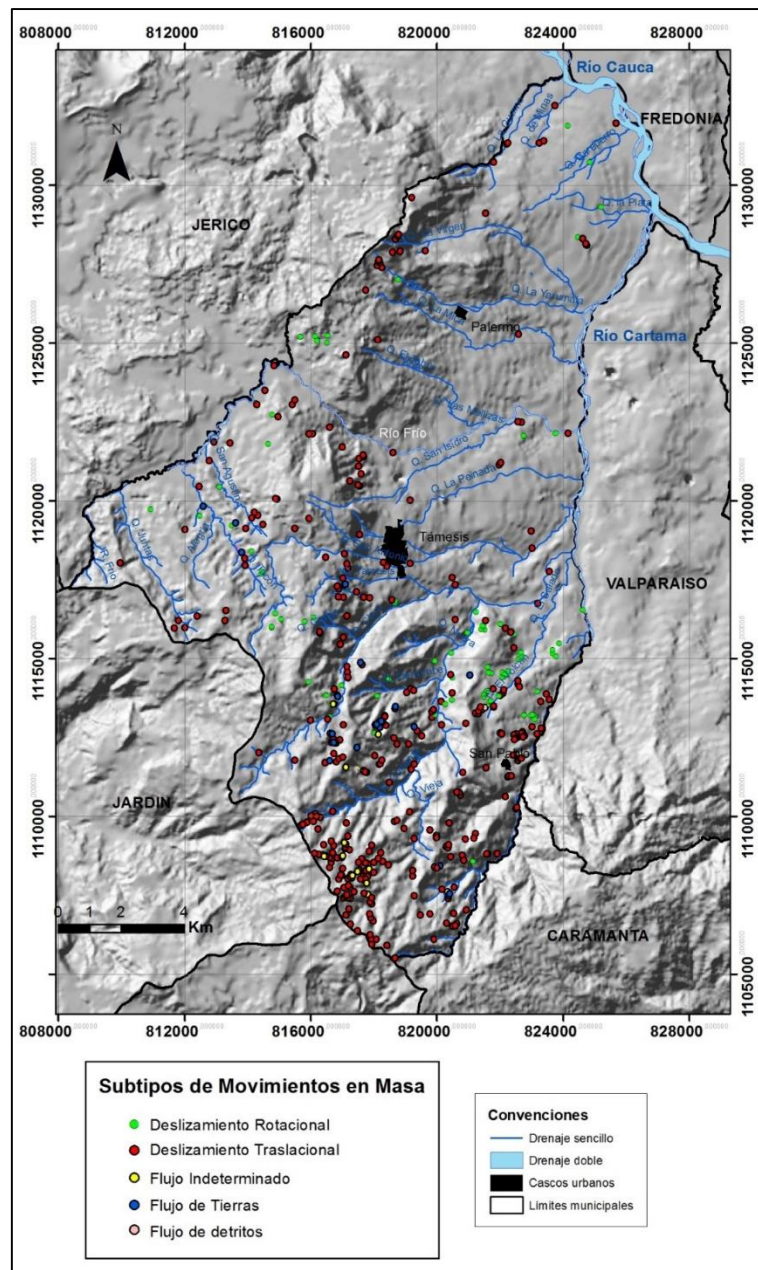


Figura 97. Mapa de movimientos en masa para el municipio de Tamesis.

5. SUSCEPTIBILIDAD DEL SUELO RURAL

Para el cálculo de la susceptibilidad, como se señaló con anterioridad, se escogió el método Estadístico Bivariado, debido a que da una medida cuantitativa de la densidad del fenómeno y a que se contó con un inventario de registros de movimientos en masa. Debido a que el 85% de los movimientos corresponden a movimientos en masa tipo deslizamientos y el 15 % a flujos (generados a partir de los deslizamientos), el modelo de susceptibilidad evaluó cada tipo de fenómeno por separado.

Se siguió la metodología desarrollada por CORANTIOQUIA-EAFIT, (2015^a), donde específicamente utilizaron el denominado método de proporción de la frecuencia (frequency ratio method), método del índice estadístico (The statistical index method) o de información ponderada (Van Westen, 1993). El método seleccionado es un estadístico bivariado simple, donde los pesos son asignados basados en la relación de los factores condicionantes (como la geología, la geomorfología, la pendientes, la rugosidad, el relieve relativo y coberturas del suelo) con la frecuencia de los movimientos en masa (CORANTIOQUIA-EAFIT, 2015^a).

El método del índice estadístico asigna un valor de peso determinado W_i a cada clase de parámetro, por ejemplo una unidad geológica superficial o una unidad geomorfológica. Van Westen (1997) define el valor W_i como el logaritmo natural de la densidad de deslizamientos dentro de la clase dividido por la densidad de deslizamientos en general en todo el mapa (CORANTIOQUIA-EAFIT, 2015^a). A continuación en la figura 98 se presenta la expresión utilizada para la calificación de las unidades al interior de los diferentes factores, propuesta por CORANTIOQUIA-EAFIT (2015^a).

$$W_i = \ln \left(\frac{Densclas}{Densmap} \right) = \ln \left[\frac{\frac{Npix(Si)}{Npix(Ni)}}{\frac{\sum Npix(Si)}{\sum Npix(Ni)}} \right]$$

W_i = Ponderación dado a determinado parámetro de clase (ejemplo, tipo de roca).
 $Densclas$ = Densidad de los deslizamientos dentro del parámetro de clase.
 $Densmap$ = Densidad de los deslizamientos dentro del todo el mapa.
 $Npix(Si)$ = Número de pixeles que contienen deslizamientos dentro de un determinado parámetro de clase.
 $Npix(Ni)$ = Número total de pixeles e un determinado parámetro de clase.

Figura 98. Calculo de W_i . Tomado de CORANTIOQUIA-EAFIT (2015^a)

Las variables condicionantes para el cálculo de la susceptibilidad son: las unidades litológicas para *geología*, subunidades geomorfológicas para la *geomorfología*, tipo de cobertura para las *coberturas del suelo*, y pendientes, rugosidad, relieve relativo y curvatura, trabaja con los rangos anteriormente descritos en cada capítulo de cada variable.

El cálculo del W_i se realizó con la siguiente expresión:

$$W_i = \ln \left[\frac{\left(\frac{AAMMU}{AU} \right)}{\left(\frac{AATMM}{ATM} \right)} \right]$$

Donde:

AAMMU = Área afectada por movimientos en masa de la unidad

AU = Área de la unidad

AATMM = Área total afectada por movimientos en masa

ATM = Área total del Municipio de Támesis

Posteriormente, los W_i de cada variable se sumaron para obtener los valores de susceptibilidad para el municipio de Támesis por movimientos en masa. Para asignarle rangos cualitativos se graficaron los valores de área acumulada de susceptibilidad (dividida en 50 rangos iguales) versus el porcentaje de área acumulada de movimientos en masa y se establecieron los rangos de susceptibilidad Alta, Media y Baja.

Para los movimientos en masa tipo deslizamientos, el valor de susceptibilidad alta, presenta el 60% de los procesos, la cual representaba el 23% del área del municipio, y el valor de susceptibilidad media que representaba el 90% de los movimientos en masa y está alrededor del 52% del área de estudio. De esta manera sólo el 10% de deslizamientos se sitúan en la categoría de susceptibilidad baja, dando una muy buena correlación entre el modelo y la realidad del área de estudio analizada (Figura 99).

Para los movimientos en masa tipo flujo, el valor de susceptibilidad alta presenta el 60% de los movimientos en el 7% del área del Municipio; el valor de susceptibilidad media con el 90% de los flujos se localiza en 14% de área de estudio. Como consecuencia, el 10% de los flujos se localizan en el rango de susceptibilidad baja en el 86 % del municipio de Támesis (Figura 100)

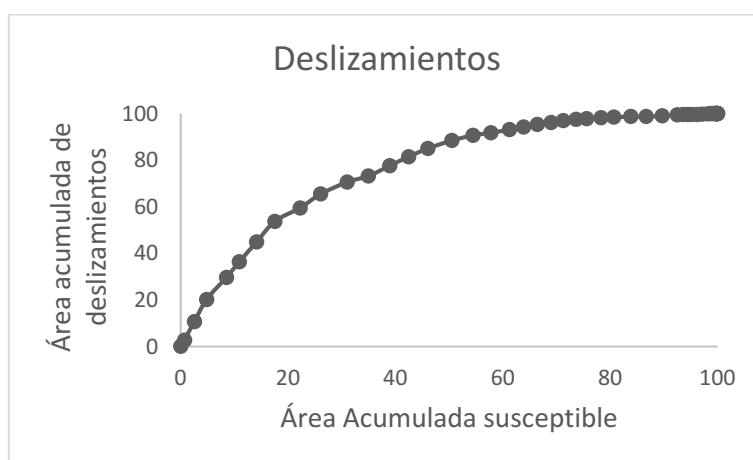


Figura 99. Grafica de los valores de susceptibilidad para deslizamientos.

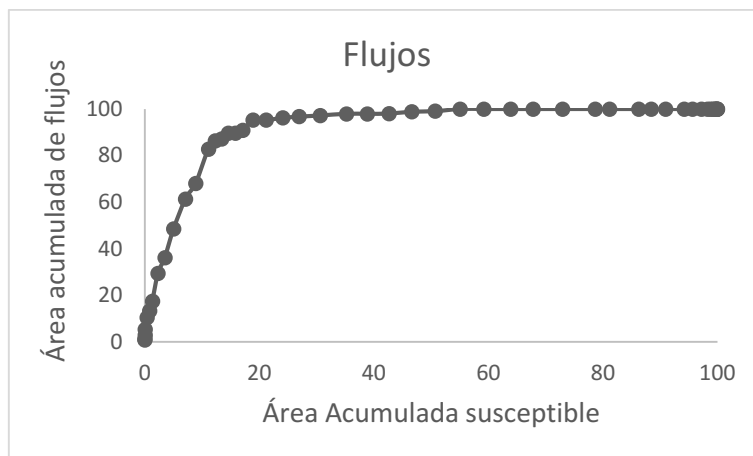


Figura 100. Grafica de los valores de susceptibilidad para flujos.

5.1. SUSCEPTIBILIDAD ALTA

La susceptibilidad alta por deslizamientos ocupa el 22,28 % del área del municipio y predominan los deslizamientos traslacionales. Se encuentra localizada en sectores específicos del municipio siendo la zona al sur de la cabecera municipal la más afectada. Este rango se localiza en la totalidad de las veredas Manzanares, Travesías, Cedeño Alto y Bajo, La Betania y La Florida; en mayor porcentaje en las veredas La Liboriana, La Argentina, Campo Alegre, Nudillales, San Pedro, La Matilde y Río Claro. En menores proporciones está presente hacia el oeste entre las veredas El Tacón, San Antonio y San Luis, y al noroeste en las veredas La Alacena, El Hacha y La Virgen.

La susceptibilidad alta por flujos ocupa el 7,11 % del Municipio y se localiza muy concentrada hacia el sur del casco urbano en las veredas La Betania, Cedeño Alto y Manzanares, además hay algunos sectores entre las veredas El Tacón y San Antonio, al oeste.

En esta categoría prevalecen el Stock de Támesis y La Formación Combia, geomorfológicamente se relaciona con las unidades de lomos denudados, las laderas irregulares, laderas erosivas y cerros remanentes o relictos con unas pendientes de moderadas a fuertes. Las coberturas asociadas son bosque nativo y pastos no manejados

5.2. SUSCEPTIBILIDAD MEDIA

El rango de susceptibilidad media por deslizamientos presenta un área de 28,24% en el Municipio. Esta categoría presenta mayor distribución en comparación con la susceptibilidad baja y la podemos encontrar al noroeste en las veredas La Juventud, La Oculta, La Virgen, Santa Teresa; al oeste en las veredas San Luis, Otrabanda, en algunos sectores de las veredas San Antonio, Río Frío y El Tacón. Hacia el sur del municipio en las veredas Piedramoler, La Matilde, San Pedro, Campo Alegre, La Liboriana, La Mirla, La Pastora y Guayabal, además se localiza el Corregimiento de San Pablo. Presentando un

predominio de deslizamientos rotacionales en las veredas La Pastora y La Mirla, y en el resto de zona deslizamientos traslacionales.

La susceptibilidad media por flujos ocupa el 10% del Municipio, y la podemos encontrar en las veredas localizadas al sur como son La Betania, Cedeño Alto, Campo Alegre, La Liboriana, La Argentina y al oeste entre El Tacón y San Antonio.

En esta categoría prevalecen el Stock de Támesis y La Formación Combia, geomorfológicamente se relaciona con las unidades de lomos denudados con unas pendientes de moderadas a fuertes. Las coberturas asociadas son bosque nativo y pastos no manejados.

5.3. SUSCEPTIBILIDAD BAJA

Este rango de susceptibilidad baja por deslizamientos ocupa el 49,47% del territorio, presentado una concentración hacia las partes bajas del municipio. Esta categoría la podemos localizar al Noreste y Este en gran parte (en su totalidad, en ocasiones) de las veredas La Oculta, El Líbano, San Nicolás, Santa Teresa, El Tabor, Pescadero, San Isidro, La Mesa, El Encanto, El Rayo, Corozal; y hacia el oeste del casco urbano en las veredas El Tacón, Río Frío, San Antonio, San Luis y Otrabanda.

La susceptibilidad baja por flujos ocupa el 82,87% del territorio, siendo este el rango que ocupa mayor área, encontrándose disperso en el Este, Norte y Oeste del municipio. Esta categoría se localiza en las veredas La Oculta, La Virgen, La Juventud, El Líbano, San Nicolás, Santa Teresa, El Tabor, Pescadero, El Hacha, La Alacena, San Isidro, La Mesa, El Encanto, El Rayo, Corozal; Río Claro, San Pedro, La Matilde, La Mirla, La Pastora, El Tacón, Río Frío, San Antonio, San Luis, Otrabanda, Cedeño Bajo, La Argentina, Piedramoler, Guayabal, Travesías y Nudillales.

Esta categoría, en general se encuentra dispersa por todo el municipio, afectando todas las unidades geológicas en especial los depósitos coluviales y aluviales, las unidades geomorfológicas denudativas en pendientes moderadas a suaves y todos los usos del suelos.

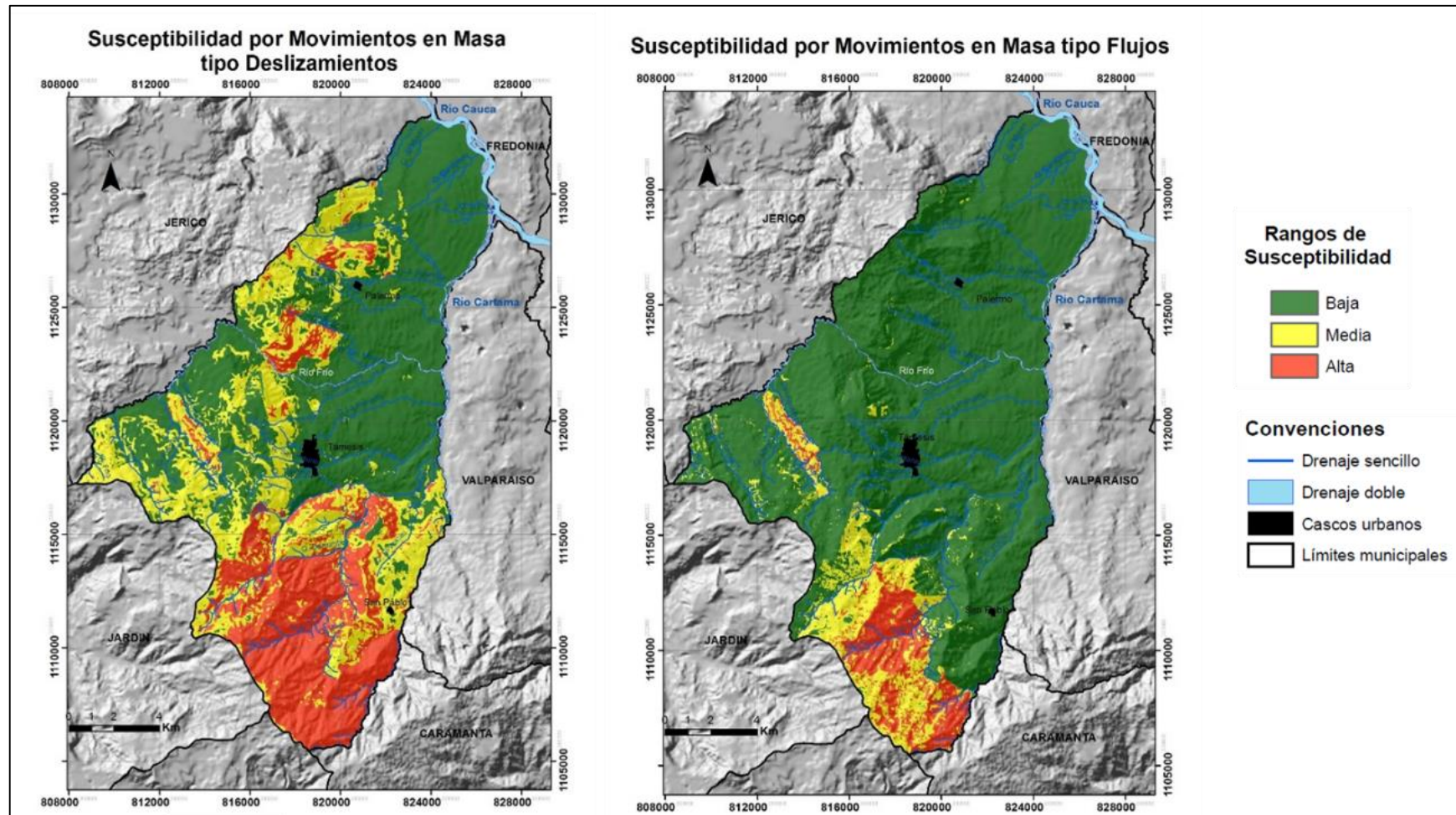


Figura 101. Mapas de susceptibilidad por deslizamientos y flujos para el municipio de Tamesis.

6. AMENAZA PARA EL SUELO RURAL

Para este análisis de amenaza por movimientos en masa se tomaron los detonantes lluvia y sismo, considerando la amenaza como el factor resultante entre la susceptibilidad y los detonantes.

6.1. DETONANTE LLUVIA

Los movimientos en masa representan el efecto de la lluvia sobre las laderas, y por lo tanto, esta variable es considerada en la modelación de movimientos en masa para el municipio de Támesis. En la Figura 102, se presentan los mapas con información de precipitación máxima de 24 horas para los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años, los cuales son insumos dentro del modelo de predicción de movimientos en masa. Teniendo que el valor mínimo de precipitación máxima en 24 h es de 66 mm en el $Tr=2.33$ y el valor máximo es de 158mm en el $Tr=100$ para el municipio, presentando los valores mayores de precipitación hacia el norte, en el corregimiento de Palermo.

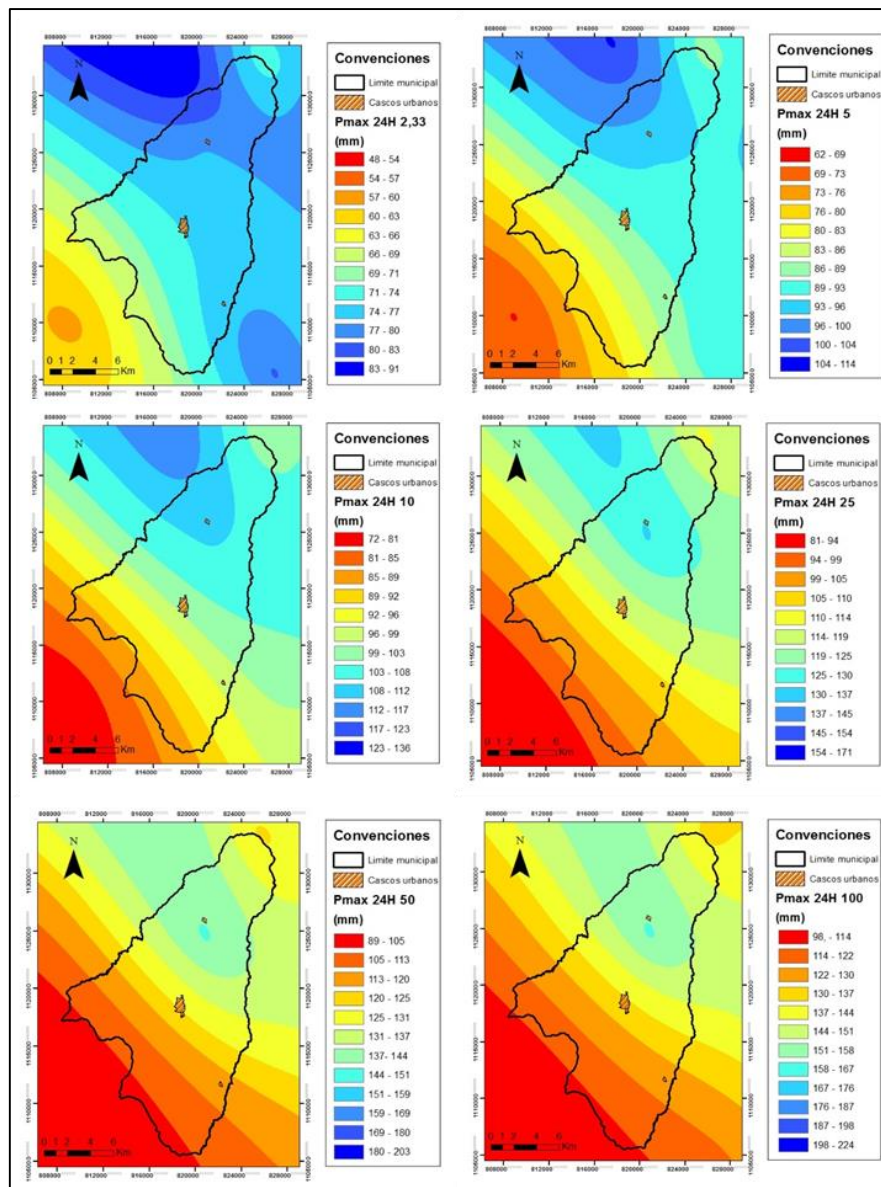


Figura 102. Mapas de precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno (TR) para el municipio de Tamesis.

6.2 DETONANTE SÍSMICO

Desde el punto de vista ingenieril, las laderas y taludes se encuentran en estados que van desde muy estables a marginalmente estables. Cuando un sismo ocurre induce un movimiento del terreno a menudo suficiente para causar fallas a taludes que están marginalmente a moderadamente estables antes del sismo. Los daños resultantes pueden ser desde insignificantes a catastróficos dependiendo de la geometría y de las características del material que las conforman (SGC, 2013).

El detonante sismo fue tomado del Mapa Nacional de Amenaza Sísmica (INGEOMINAS & Universidad Nacional, 2010), el cual proporciona, entre otros

parámetros, los valores de aceleración máxima horizontal (PGA) a nivel de terreno firme correspondiente a un período de retorno de 475 años, calculadas para una grilla cada 0.1 grados cubriendo la totalidad del territorio nacional y conformada por 16.872 puntos, incluyendo adicionalmente 1.114 puntos correspondientes a los municipios y capitales en origen Magna Sirgas Bogotá; estos valores fueron calificados de acuerdo con su menor o mayor grado de contribución a la generación de movimientos en masa (SGC, 2013).

En el marco del mencionado estudio, se ha empleado el método probabilístico con base en investigaciones geológicas, neotectónicas, sismológicas y de ingeniería sísmica. Los cálculos se han realizado mediante el uso del programa de computador Crisis (Ordaz et al., 2007), el cual tiene en cuenta los aspectos de geometría, recurrencia y ley de atenuación, así como los parámetros de probabilidad de excedencia y tiempo de exposición, definidos según la Normatividad Sismorresistente vigente (NSR-10) (SGC, 2013).

De esta manera, el cálculo del detonante sismo se generó a partir de los datos de PGA (cm/seg^2) correspondientes a un periodo de retorno de 475 años, los cuales fueron rasterizados y categorizados cada 50 gales, permitiendo de esta forma calificar, de forma cualitativa, el grado de contribución del sismo a la ocurrencia de movimientos en masa (Tabla 10) (SGC, 2013).

Tabla 9. Calificación del detonante sismo según su contribución a los movimientos en masa (Tomado de SGC, 2013).

| Valores de PGA (cm/seg^2) | Calificación |
|---|--------------|
| 10 – 100 | Muy baja |
| 100 – 150 | Baja |
| 150 – 200 | Media |
| 200 – 300 | Alta |
| > 300 | Muy alta |

En la Figura 103 se presenta el mapa del detonante sismo correspondiente al municipio de Támesis.

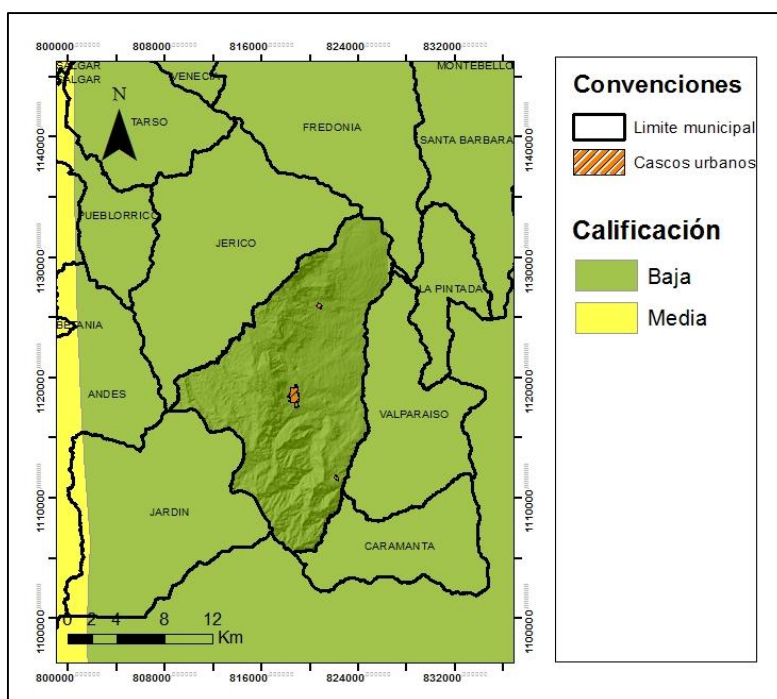


Figura 103. Mapa del detonante sismo el municipio de Támesis para un periodo de retorno de 475 años (Fuente: INGEOMINAS & Universidad Nacional, 2010).

Con base en la espacialización de las aceleraciones máximas horizontales dadas en PGA, el detonante sismo para el municipio de Támesis, presenta una oscilación de la aceleración máxima horizontal entre 100 y 150 PGA, y está distribuida uniformemente, ocupando el 100% del área del municipio.

Para correr el modelo estadístico bivariado esta variable no aporta ni valores positivos ni negativos, debido a que no presenta cambios dentro del municipio dado que la relación de densidades es 1 y el $\ln(1)=0$, entonces al tratar de ponderar este valor el cálculo de la amenaza no genera ningún tipo de afectación, motivo por el cual la variable se describió pero se dejó claro que no se utilizó en el modelo para calcular la amenaza.

6.3. ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

Para el cálculo de la amenaza, al igual que con la susceptibilidad, los diferentes periodos de retorno de precipitación máxima en 24 h ($T_r = 25, 50$ y 100 años) del detonante de lluvia fueron ponderados en valores de W_i . Posterior a esto, se le asignó un peso en porcentaje a la susceptibilidad (80%) y al detonante lluvia (20%), de acuerdo con

La expresión utilizada para el cálculo de la amenaza para el municipio de Támesis fue la siguiente (CORANTIOQUIA-EAFIT, 2015^a):

$$Ame_Tamesis = (W_{i_s} * 0.8) + (W_{i_{Tr}} * 0.2)$$

Donde:

Wi_s = Valores de susceptibilidad

Wi_{Tr} = Valores de cada periodo de retorno del detonante lluvia ($Tr = 25, 50$ y 100 años)

Posteriormente, se obtuvo valores de Wi , los cuales se dividieron en 50 rangos iguales y se hizo una gráfica del área acumulada de la amenaza versus el área acumulada de los movimientos en masa cartografiados, para obtener los valores cualitativos de amenaza Alta, Media y Baja.

Los mapas de amenazas por deslizamientos (Figura 104) y flujos (Figura 105) para cada Tr , no presentan grandes diferencias, sin embargo se tomó el mapa con un $Tr=50$ años, porque representa mejor la realidad del municipio (Figura 106). En los mapas de amenaza por movimientos en masa de Támesis se presentan las tres categorías de amenaza: Alta, Media y Baja y el consolidado de las áreas involucradas en cada categoría se presenta en las siguientes tablas.

Tabla 10. Amenaza por deslizamientos en el municipio de Támesis para un $Tr=50$.

| Categoría | Total área (ha) | Porcentaje (%) |
|-----------|-----------------|----------------|
| Baja | 14237,88 | 49,15 |
| Media | 7087,58 | 24,47 |
| Alta | 7641,87 | 26,38 |

Tabla 11. Amenaza por flujos en el municipio de Támesis para un $Tr=50$.

| Categoría | Total área (ha) | Porcentaje (%) |
|-----------|-----------------|----------------|
| Baja | 21412,07 | 80,12 |
| Media | 2640,35 | 9,88 |
| Alta | 2674,23 | 10 |

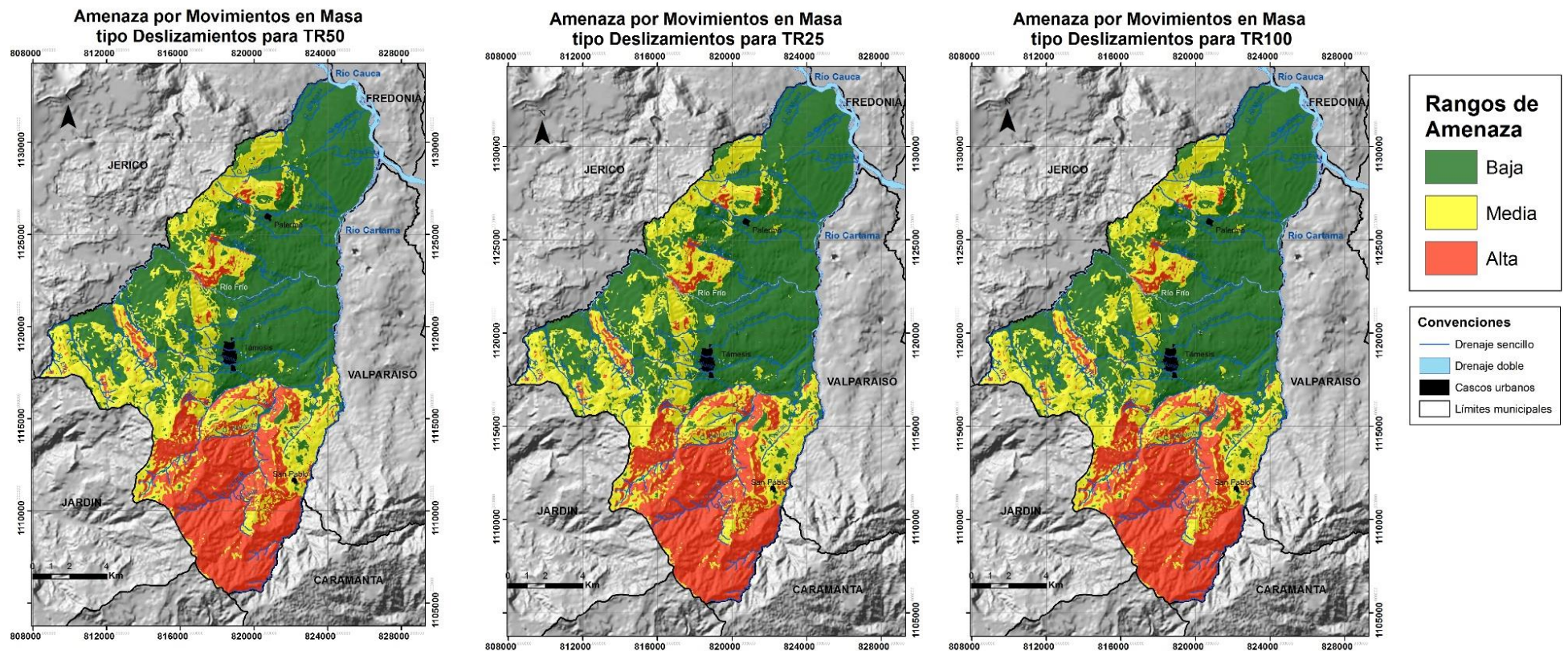


Figura 104. Mapas de amenazas por deslizamientos para el municipio de Tamesis para TR=25, 50 y 100 años.

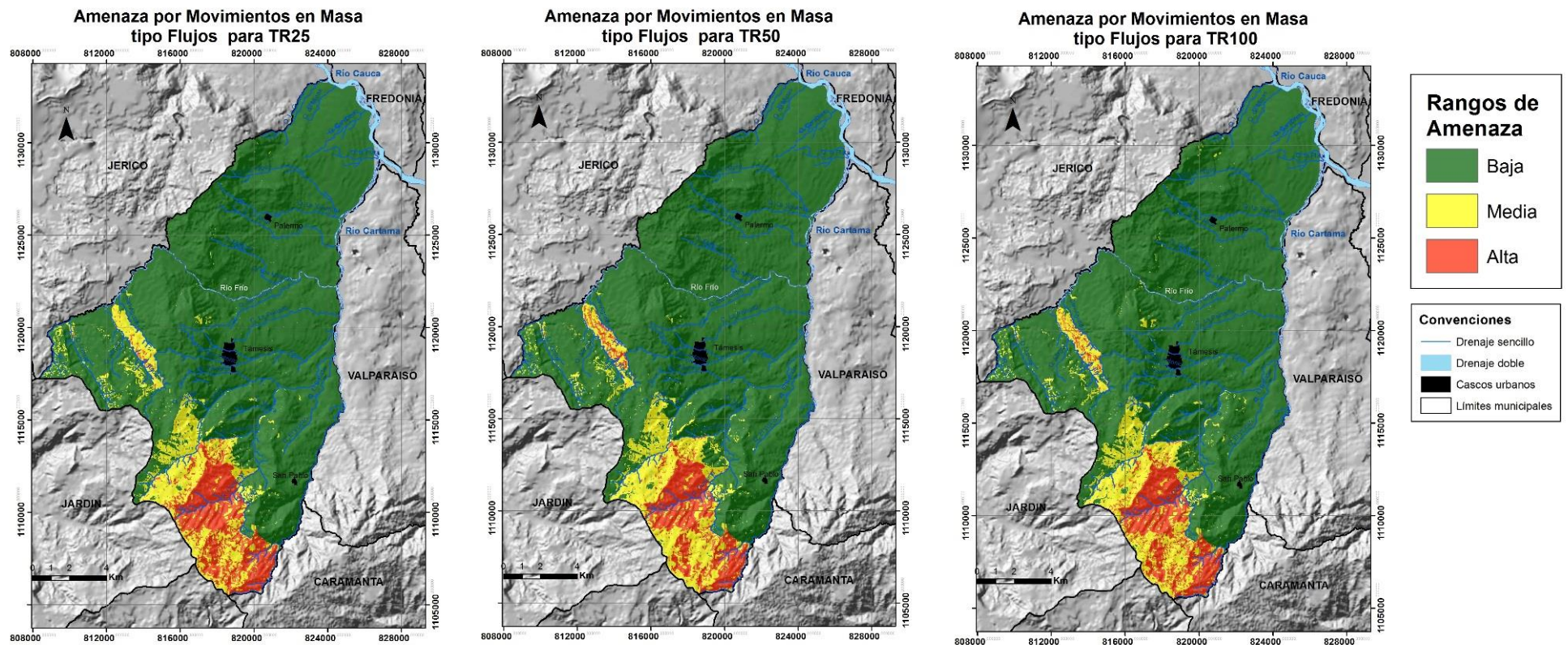


Figura 105. Mapas de amenazas por flujos para el municipio de Tamesis para TR=25, 50 y 100 años.

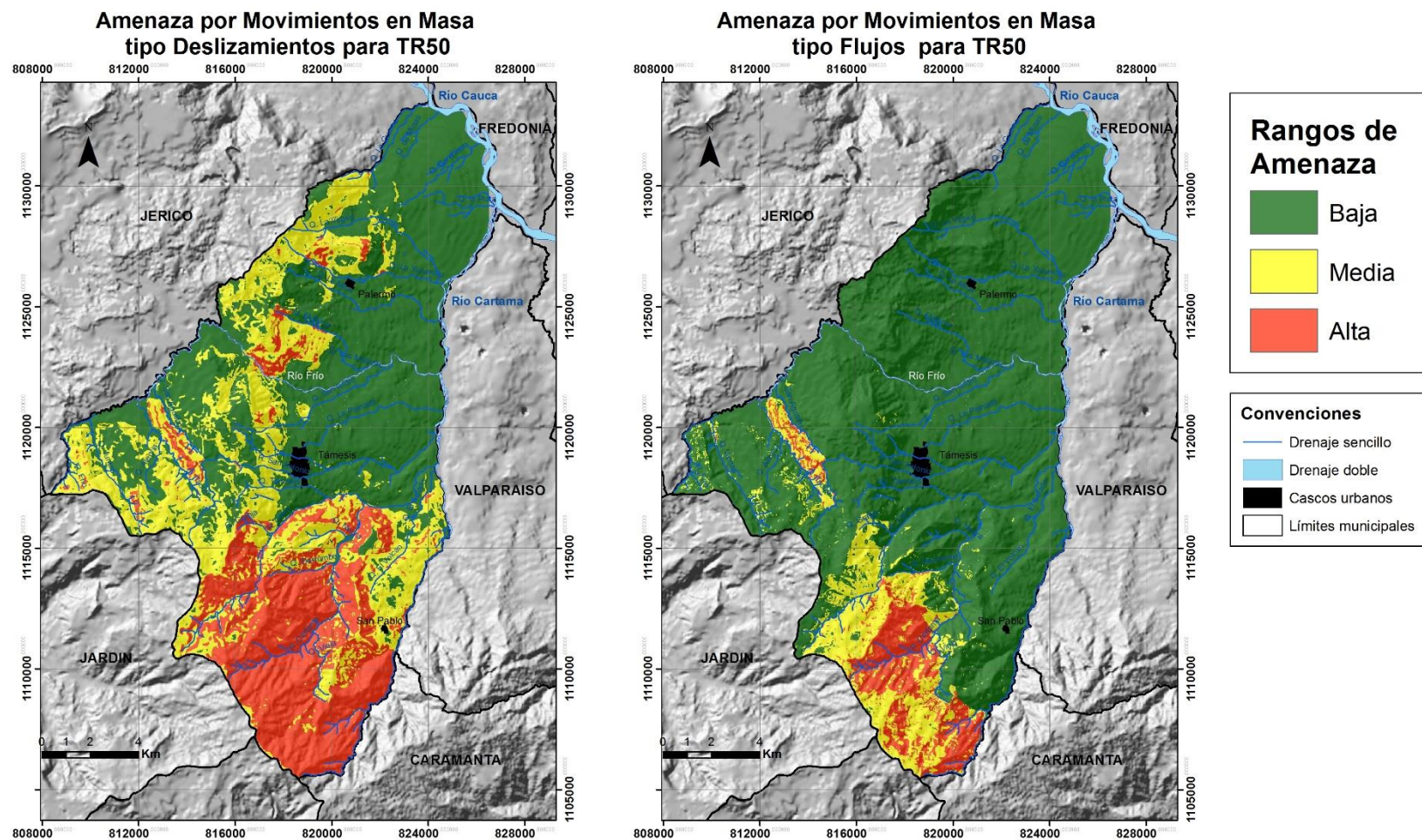


Figura 106. Mapas de amenazas por deslizamiento y flujos para un $Tr=50$ para el municipio de Tamesis.

6.4. AMENAZA ALTA

El rango de amenaza alta por deslizamientos ocupa el 26,38% del área del municipio y se encuentra al sur de la cabecera municipal, siendo esta la zona más afectada. Este rango se encierra en la totalidad de las veredas Manzanares, Travesías, Cedeño Alto y Bajo, La Betania y La Florida; en mayor porcentaje en las veredas La Liboriana, La Argentina, Campo Alegre, Nudillales, San Pedro, Guayabal, La Matilde y Río Claro. En menores proporciones está presente hacia el oeste entre las veredas El Tacón y San Luis, y al noroeste en las veredas La Alacena, El Hacha, La Virgen y Santa Teresa.

La amenaza alta por flujos ocupa el 10 % del Municipio y se localiza muy concentrada hacia el sur del casco urbano en las veredas La Betania, Cedeño Alto y Manzanares, además hay algunos sectores entre las veredas El Tacón y San Antonio, al oeste.

En general, la amenaza alta se localiza en la parte alta de las cuencas de los ríos Cartama, Río Claro, y Río Conde. Además, en esta categoría se encuentran deslizamientos y flujos activos. En estos sectores predomina la susceptibilidad alta, los valores de lluvia oscilan entre 113 y 145 mm/día y el detonante sismo es constante en todo el municipio, con valores de 100 a 150 PGA.

6.5. AMENAZA MEDIA

El rango de amenaza media por deslizamientos presenta un área de 24,38% en el Municipio. Esta categoría presenta mayor distribución en comparación con la amenaza alta y baja, y la podemos encontrar al noroeste en las veredas La Juventud, La Oculta, La Virgen, Santa Teresa, San Nicolás; al oeste en las veredas San Luis, Otrabanda, en algunos sectores de las veredas San Antonio, Río Frío y El Tacón. Hacia el sur del municipio en las veredas Piedramoler, La Matilde, San Pedro, Campo Alegre, La Liboriana, La Mirla, La Pastora, Manzanares y Guayabal, además se ubica el Corregimiento de San Pablo.

La amenaza media por flujos ocupa el 9,88% del Municipio, y la podemos encontrar al sur, en las veredas La Betania, Cedeño Alto, Manzanares, Campo Alegre, La Liboriana, La Argentina y al oeste entre El Tacón y San Antonio.

En general, la amenaza media se localiza al oeste y sur del Municipio. El escarpe, al oeste de la cabecera municipal, se encuentra en este rango debido a que esta zona es de cuidado por el fenómeno de caída de roca dado que aunque no es frecuente en un evento latente. Por otra parte, en esta categoría se encuentran deslizamientos y flujos activos, y predomina la susceptibilidad media, los valores de lluvia oscilan entre 113 y 151 mm/día y el detonante sismo es constante en todo el municipio, con valores de 100 a 150 PGA.

6.5. AMENAZA BAJA

Este rango de amenaza por deslizamientos ocupa el 49,15% del territorio, presentado una concentración hacia las partes bajas del municipio. Esta categoría la podemos localizar al Noreste y Este en gran parte (totalmente, en

ocaciones) de las veredas La Oculta, La Virgen, El Líbano, San Nicolás, Santa Teresa, El Tabor, Pescadero, San Isidro, La Mesa, El Encanto, El Rayo, Corozal; y hacia el oeste del casco urbano en las veredas El Tacón, Río Frío, San Antonio, San Luis y Otrabanda.

La amenaza baja por flujos ocupa el 80,12% del territorio, siendo este el rango de mayor área, encontrándose disperso en el Este, Norte y Oeste del municipio. Esta categoría se localiza en las veredas La Oculta, La Virgen, La Juventud, El Líbano, San Nicolás, Santa Teresa, El Tabor, Pescadero, El Hacha, La Alacena, San Isidro, La Mesa, El Encanto, El Rayo, Corozal; Río Claro, San Pedro, La Matilde, La Mirla, La Pastora, El Tacón, Río Frío, San Antonio, San Luis, Otrabanda, Cedeño Bajo, La Argentina, Piedramoler, Guayabal, Travesías y Nudillales; además de los cascos urbanos de los corregimientos de Palermo y San Pablo.

Esta categoría, en general se encuentra concentrada desde el escarpe al occidente de la cabecera municipal hasta las inmediaciones con el río Cartama, afectando todas las unidades geológicas en especial los depósitos coluviales y aluviales, las unidades geomorfológicas denudativas y fluviales, en pendientes moderadas a suaves y todos los usos del suelos.

7. VARIABLES PARA LA ZONIFICACIÓN DEL SUELO URBANO

Para el análisis de amenazas del suelo urbano de Támesis, se ha establecido un área de estudio que abarca la cabecera municipal, pero no se incluye los centros poblados de los corregimientos de San Pablo, al sur, y Palermo al norte.

7.1. GEOLOGÍA Y FORMACIONES SUPERFICIALES

La cabecera urbana del Municipio de Támesis desde el punto de vista geológico se encuentra compuesta por depósitos de edad cuaternaria de tipo aluvial asociados a la dinámica del Río San Antonio y la quebrada La Peinada, y depósitos coluviales asociados a antiguos movimientos en masa. Estos materiales suprayacen un conjunto de rocas volcánicas de edad terciaria correspondiente a la Formación Combia, el cual representa al basamento sobre el que se asienta la cabecera urbana (Figura 107).

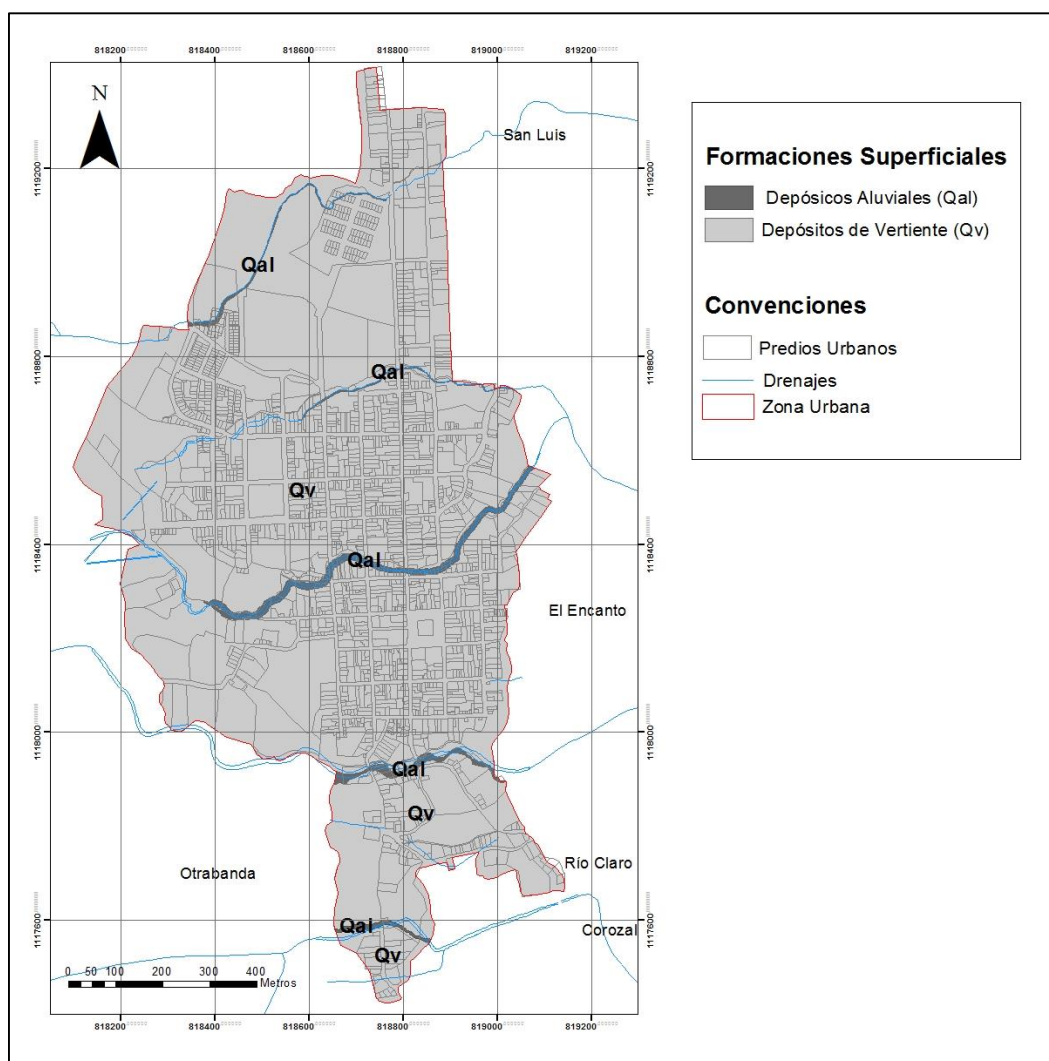


Figura 107. Mapas de formaciones superficiales de la cabecera municipal de Támesis.

7.1.1. Formación Combia (Tmc). Comprende el basamento sobre el cual está fundada la cabecera municipal de Támesis, sin embargo esta unidad geológica no aflora en la zona. Se asoció esta unidad geológica como basamento con ayuda de correlaciones de campo e información secundaria.

7.1.2. Depósitos Aluviales (Qal): Conforman las zonas bajas y de pendientes más suaves de la cabecera municipal y están asociados a la quebrada La Peinada y el río San Antonio. En general son depósitos compuestos por gravas, arenas, limos y arcillas no litificados asociados a los lechos de los drenajes anteriormente mencionados. Además, en estas zonas se observan bloques de tamaños métricos de composiciones andesíticas y aglomeráticas, como evidencia de eventos fluviotorrenciales

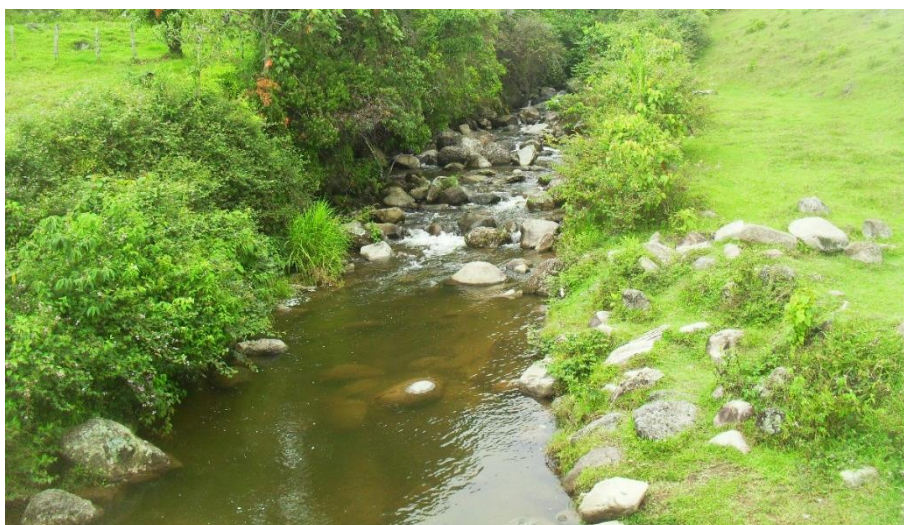


Figura 108. Depósitos aluviales asociados al Río San Antonio en la Cabecera municipal al oeste del Hogar Juvenil.

7.1.3. Depósitos de Vertiente (Qv): Estos depósitos cubren toda la cabecera municipal de Támesis, generando unas superficies onduladas socavadas por la quebrada La Peinada y el río San Antonio. Estos depósitos presentan bloques de tamaños métricos que han quedado al descubierto por el lavado de la matriz limoarenosa y limoarcillosa, evidenciados en toda la totalidad la zona urbana como bloques aislados. Estos depósitos están compuestos por flujos de lodos, flujos de detritos y flujos de escombros provenientes de las partes altas del Municipio.



Figura 109. Depósitos coluviales cerca al coliseo y bloques descubiertos.



Figura 110. Perfil de suelo residual desarrollado en depósitos de vertiente al norte del Hogar Juvenil, en el Barrio La Unión.



Figura 111. Flujo de escombros al norte de la cabecera Municipal, cerca al sector Los Lagos.



Figura 112. Construcciones sobre bloques descubiertos.

7.2. GEOMORFOLOGIA

Para la delimitación de unidades geomorfológicas, se siguió la metodología empleada para la zona rural. Dentro de la clasificación se incluyeron las pendientes como características de las unidades, debido a que no se pudo generar una variable “Pendientes” porque no se contó con cartografía básica a escala 1:2.000; sin embargo, teniendo en cuenta la importancia de la inclinación del terreno para el estudio, se levantó en campo un mapa de pendientes con ayuda de la brújula (este mapa no se digitalizó).

A nivel geomorfológico regional, la cabecera municipal se localiza en la unidad de relieve Cañón del Río Cauca – San Juan y en la macrounidad con Influencia Volcánica (IV). En general, estas unidades se encuentran en un ambiente denudacional; desarrolladas sobre depósitos, formando ondulaciones perpendiculares y paralelas a la pendiente general de la zona de estudio que va oeste-este. Las ondulaciones paralelas son producto de la acomodación de los depósitos y las ondulaciones perpendiculares son generadas por la incisión de la quebrada La Peinada y el río San Antonio.

Las unidades geomorfológicas identificadas son laderas onduladas, laderas erosivas, escarpes de erosión menor, cimas y superficies antrópicas. En la Figura 113 se presenta el mapa geomorfológico de la cabecera municipal y a continuación se describen las subunidad definidas en el suelo rural y sus correspondientes formas en el suelo urbano.

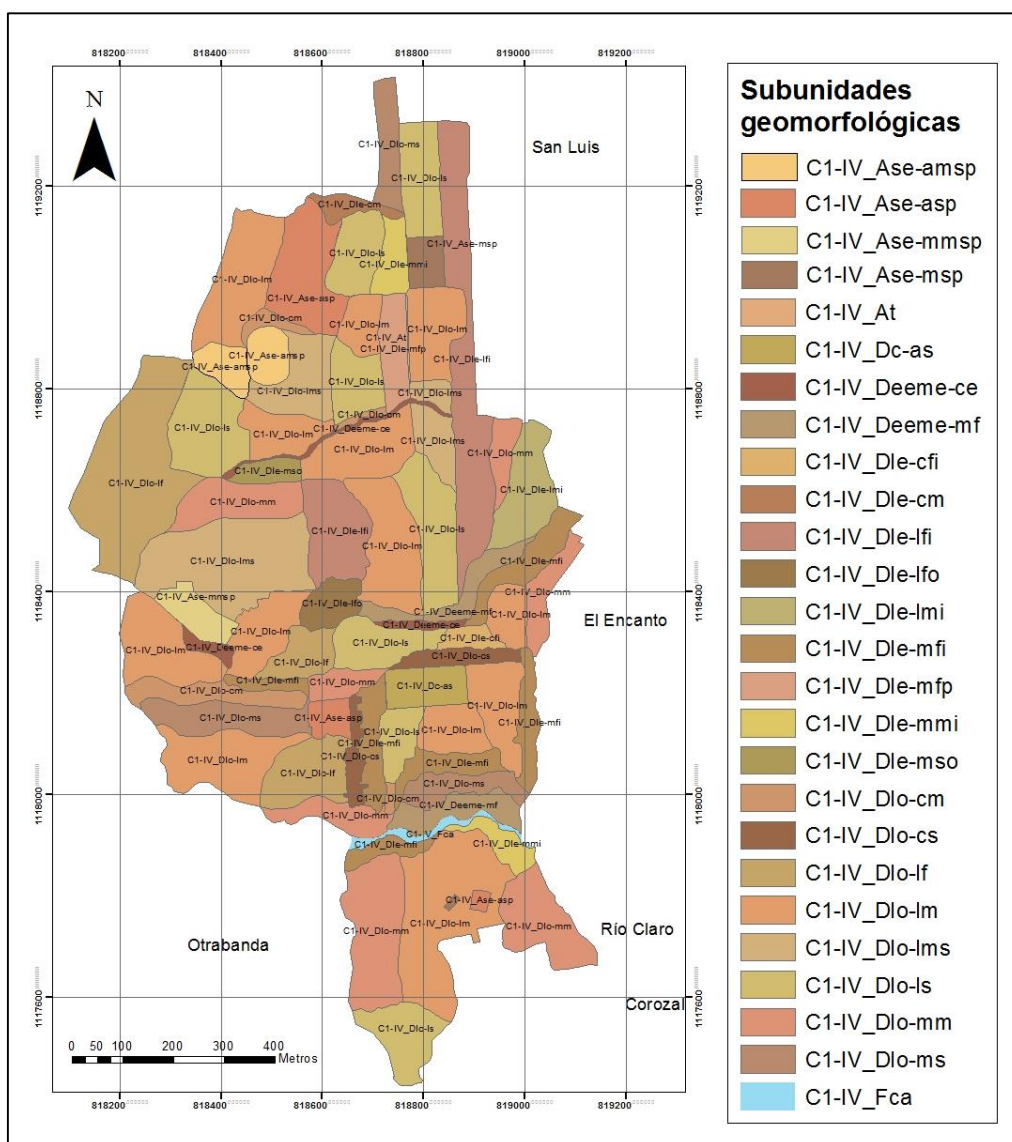


Figura 113. Mapa geomorfológico para la cabecera municipal de Támesis., escala 1:2.000.

Tabla 12. Rango de las características para las unidades

| Amplitud (m) | Longitud de laderas urbanas (m) |
|---------------|---------------------------------|
| Estrecho < 20 | 0-30 Cortas |
| Medio 20 -50 | 30 -70 Moderada |
| Amplio >50 | >70 Largas |

7.2.1. Cima (C1-IV_Dc): Superficie amplia y plana, dispuesta en franjas alargadas bordeada por pendientes planas a inclinadas, limitadas por laderas cuya inclinación es moderada a suave. De acuerdo con sus características se definen formas que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 13. Subunidades de Cima

| Unidad | Subunidad | Localización |
|-------------|--|--|
| Cima | C1-IV_Dc-as:Cima amplia de pendiente suave | Esta unidad se localiza en la plaza central de Támesis, frente a la Alcaldía, en esta unidad no se evidencian movimientos en masa activos. |



Figura 114. Cima, plaza principal de Támesis.

7.2.2. Escarpe de erosión menor (C1-IV_Deeme): Ladera abrupta o a desplome de longitud corta, de forma cóncavo convexa y eventualmente recta, con pendiente escarpada a muy escarpada, originado por socavación fluvial lateral o por procesos de erosión y movimientos en masa remontantes a lo largo de un drenaje. De acuerdo con sus características se definen formas que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 14. Subunidades de escarpe de erosión menor.

| Unidad | Subunidad | Localización |
|---------------------------------|--|--|
| Escarpe de erosión menor | C1-IV_Deeme-ce: escarpe de erosión menor corto escarpado | Esta unidad se encuentra asociada a la quebrada La Peinada y el Río San Antonio. |

| | | |
|--|---|---|
| | C1-IV_Deeme-mf: escarpe de erosión menor moderado con pendiente fuerte | Esta unidad se encuentra asociada a la margen norte del El Río San Antonio. Se observan movimientos en masa producto de la socavación del río y por mal manejo de las aguas residuales. |
|--|---|---|

7.2.3. Ladera erosiva (C1-IV_Del): Corresponde a superficies del terreno de pendientes muy inclinadas a escarpadas, de longitudes moderadas a largas, de formas planas, cóncavas y convexas, Presenta procesos erosivos como cárcavas, surcos y solifluxión, sobre materiales de suelo. Estas laderas no necesariamente están asociadas a una geoforma mayor o una estructura. De acuerdo con sus características se definen formas que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 15. Subunidades de laderas erosivas

| Unidad | Subunidad | Localización |
|-----------------------|---|--|
| Ladera Erosiva | C1-IV_Dle-cfi: Ladera Erosiva corta de pendiente fuerte y superficie irregular | Esta unidad se localiza en la margen sur de la calle 12, cerca al matadero municipal. Se observan movimientos en masa activos. |
| | C1-IV_Dle-cm: Ladera Erosiva corta de pendiente moderada | Esta unidad se localiza cerca al sector los lagos en el barrio Las Nieves, al norte de la cabecera municipal. |
| | C1-IV_Dle-lfi: Ladera Erosiva larga de pendiente fuerte y superficie irregular | Se localiza entre la carrera 9 y la calle 13, en la salida del municipio, y en el barrio Santa Ana entre la carrera 12 y la calle 13. |
| | C1-IV_Dle-lfo: Ladera Erosiva larga de pendiente fuerte y superficie ondulada | Esta unidad se encuentra en la margen norte del río San Antonio, al oeste de la carrera 12 |
| | C1-IV_Dle-lmi: Ladera Erosiva larga de pendiente moderada y superficie irregular | Esta unidad se localiza en la salida del municipio, en la margen este de la calle 13. |
| | C1-IV_Dle-mfi: Ladera Erosiva moderada de pendiente fuerte y superficie irregular | Estas unidades se localizan al sur de la cabecera municipal, entre ambos brazos de río San Antonio. En estas unidades se observan movimientos en masa. |
| | C1-IV_Dle-mfp: Ladera Erosiva moderada de pendiente fuerte y superficie plana | Esta unidad se localiza al norte del río San Antonio, en la margen oeste de la carrera 10. |

| | | |
|--|---|--|
| | C1-IV_Dle-mmi: Ladera Erosiva moderada de pendiente moderada y superficie irregular | Se encuentra al sur de la quebrada La Peinada, al frente del cementerio municipal. En esta unidad se observan movimientos en masa. |
| | C1-IV_Dle-mso: Ladera Erosiva moderada de pendiente suave y superficie ondulada | Esta unidad está asociada a la margen sur del río San Antonio al este de la cabecera municipal. |



Figura 115. Laderas erosivas de pendiente fuerte localizada al norte del Hogar Juvenil en el Barrio La Unión.



Figura 116. Laderas erosivas de pendiente fuerte localizada al sur del municipio, en la margen norte del río San Antonio.



Figura 117. Laderas erosivas de pendiente fuerte localizada al suroeste del casco urbano, al norte del río San Antonio.

7.2.4. Ladera ondulada (C1-IV_Dlo): Superficie en declive de morfología alomada o colinada, pendiente muy suave a fuerte, la longitud varía entre corta y larga. Estas laderas se pueden formar en suelos residuales y depósitos de vertiente. De acuerdo con sus características se definen formas que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 16. Subunidades de laderas onduladas

| Unidad | Subunidad | Localización |
|------------------------|---|--|
| Ladera Ondulada | C1-IV_Dlo-cm: Ladera Ondulada corta de pendiente moderada | Estas unidades las podemos encontrar en al norte del río San Antonio y al oeste del hogar juvenil. |
| | C1-IV_Dlo-cs: Ladera Ondulada corta de pendiente suave | Estas unidades se localizan al sur del municipio, en los alrededores de la plaza principal. |
| | C1-IV_Dlo-lf: Ladera Ondulada larga de pendiente fuerte | Unidades ubicadas a ambas márgenes del río San Antonio, al sur del municipio, en el barrio la Unión. |

| | | |
|--|--|---|
| | C1-IV_Dlo-lm: Ladera Ondulada larga de pendiente moderada | Estas unidades son las de mayor dispersión y frecuencia en el municipio, ocupando la mayor área, sin ningún patrón. En estas unidades se evidencian fenómenos de movimientos en masa lentos registrados en el relieve de los adoquines. |
| | C1-IV_Dlo-lms: Ladera Ondulada larga de pendiente muy suave | Son unidades muy planas que se localizan en las zonas de descansos de las grandes ondulaciones del terreno, están presentes al norte y este del municipio. |
| | C1-IV_Dlo-ls: Ladera Ondulada larga de pendiente suave | Estas unidades se ubican en una superficie plana en dirección norte-sur de manera preferencial, entre las carreras 12 y 10. |
| | C1-IV_Dlo-mm: Ladera Ondulada moderada de pendiente moderada | Estas unidades localizadas al sur del río San Antonio, sin control de dirección preferencial. |
| | C1-IV_Dlo-ms: Ladera Ondulada moderada de pendiente suave | Estas unidades se localizan al sur del municipio, como pequeños descansos a las ondulaciones perpendiculares a la pendiente que se presentan de manera regional. |



Figura 118. Ladera ondulada de pendiente suave localizada al norte del Municipio.



Figura 119. Ladera ondulada de pendiente moderada al norte del Municipio.



Figura 120. Ladera ondulada de pendiente moderada detrás del Hogar Juvenil en el Barrio La Unión.



Figura 121. Ladera ondulada de pendiente suave en el sector Santa Ana.

7.2.4. Superficie de explanación (C1-IV_Ase): Porción del terreno continúa de pendientes muy suaves limitada por taludes que ha sido intervenida por la acción humana. De acuerdo con sus características se definen formas que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 17. Subunidades de las superficies antrópicas

| Unidad | Subunidad | Localización |
|-------------------------------|--|---|
| Superficies antrópicas | C1-IV_Ase-amp: Superficie de explanación amplia con pendiente muy suave y superficie plana | Esta unidad se localiza al norte, entre la calle 17 y la carrera 15 en la cancha de futbol y la urbanización Altos de la Quintana. No se observan fenómenos de movimientos en masa. |
| | C1-IV_Ase-asp: Superficie de explanación amplia con pendiente suave y superficie plana | Esta unidad se encuentra en el barrio Las Nieves, al norte de la carrera 12. En esta unidad no se observan movimientos en masa activos |
| | C1-IV_Ase-mmmp: Superficie de explanación media con pendiente muy suave y superficie plana | Se encuentra localizada en el estadio del Municipio. |
| | C1-IV_Ase-msp: Superficie de explanación media con pendiente suave y superficie plana | Se localiza en el Cementerio Municipal. |
| | C1-IV_At: Talud | Esta unidad se localiza al oeste en la carrera 10, en el barrio Las Nieves. En esta unidad se observan deslizamientos traslacionales asociados al corte de la unidad. |



Figura 122. Superficie antrópica, Estadio Municipal.

En general, la cabecera municipal de Támesis está regida por un conjunto de unidades geomorfológicas de ambiente denudativo, que se encuentran cubriendo o se han desarrollado de unidades estructurales regionales. Estas unidades son laderas onduladas, laderas erosivas y escarpes de erosión menor.

7.3. PROCESOS MORFODINÁMICOS

La cabecera urbana del Municipio de Támesis por sus características geológicas, topográficas e hidrológicas es susceptible ante la ocurrencia de procesos morfodinámicos, por lo que los procesos identificados corresponden principalmente a procesos de intervención antrópica realizados para la conformación de espacios urbanizables, además de algunos movimientos en masa actualmente estabilizados.

La escorrentía en la zona genera procesos erosivos que arrastran gran cantidad de sedimentos a los cauces de las quebradas modificando sus niveles base y provocando fenómenos de socavamiento lateral del cauce, los cuales favorecen la ocurrencia de deslizamientos que involucran grandes volúmenes de tierra; a su vez, la infiltración produce fenómenos de lavado de matriz en las formaciones superficiales presentes en el área, con su consecuente manifestación en superficie (asentamientos que afectan las construcciones) y además, satura las mismas formaciones provocando deslizamientos y fenómenos de reptación que deterioran áreas de cultivo y pueden llegar a afectar viviendas.

Los movimientos en masa se presentan en las zonas con una pendiente fuerte y como la mayor parte del área se encuentra construida (edificaciones livianas) es difícil identificar estos fenómenos, no obstante, en las márgenes de las quebradas se observa el socavamiento y en los adoquines deformados, el desplazamiento del terreno (Figura 123). Además, el sector el Hoyo, localizado

en la margen izquierda del río San Antonio muestra un movimiento en masa lento de que involucra unas par de cuadras evidenciada en el agrietamiento de las viviendas y el deterioro repetitivo de las vías (Figura 126).

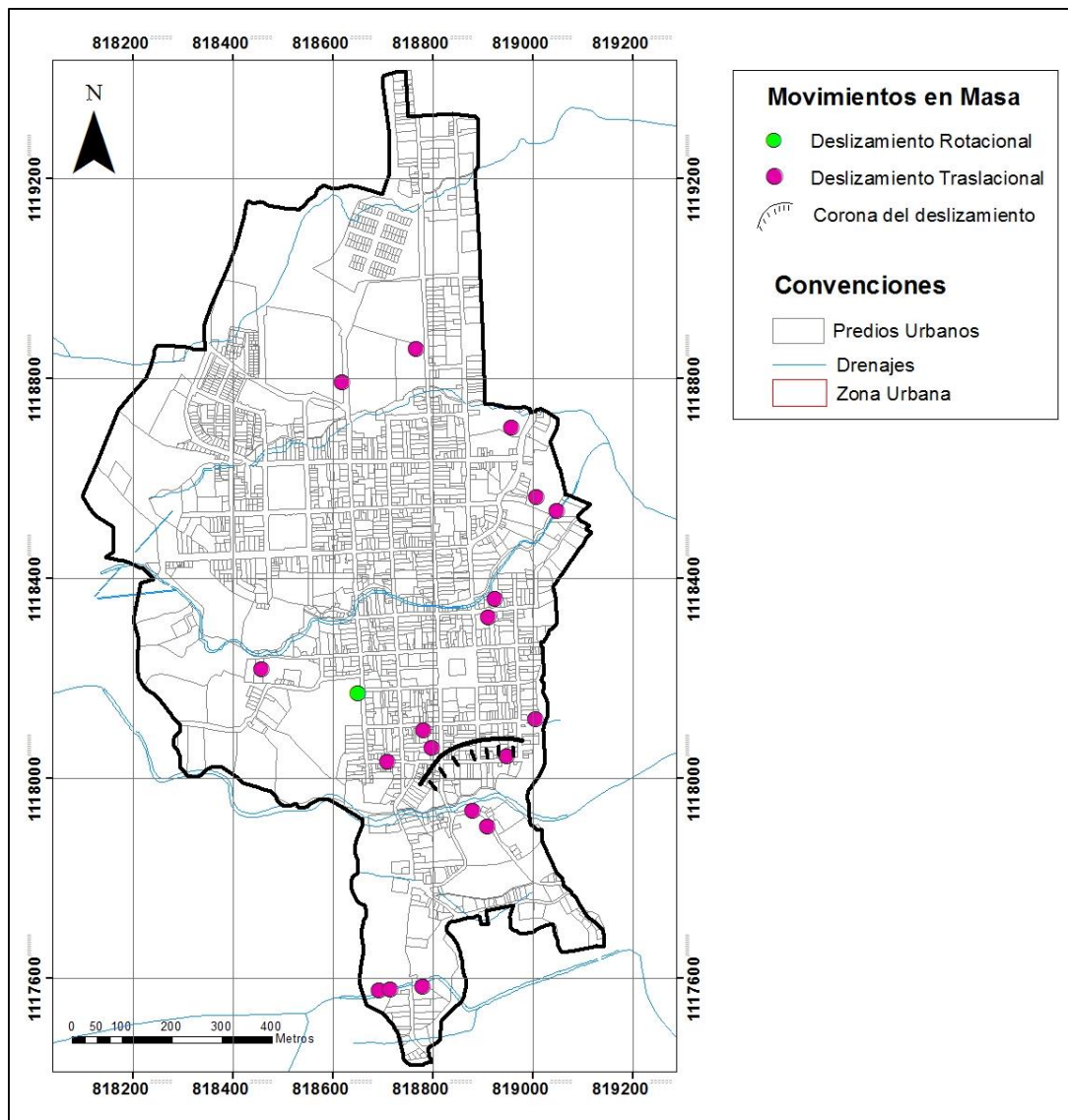


Figura 123. Mapa de movimientos en masa para el Municipio de Támesis.

Además, el municipio presenta evidencias de ser susceptible a los fenómenos de caídas de rocas provenientes del escarpe que lo limita al occidente, estos fenómenos no son frecuentes pero es una amenaza latente con la que vive el municipio. Este fenómeno se evidencia en bloques angulares de composición porfídica de tamaños métricos que se localizan por todo el municipio (Figura 127).



Figura 124. Deslizamiento traslacional en un ladera erosiva de pendiente fuerte.



Figura 125. Deslizamiento localizado en depósitos de vertiente cerca al vivero La Roca, en la bomba de Terpel.



Figura 126. Viviendas agrietadas en el sector en El Hoyo, en la margen izquierda del Río San Antonio.



Figura 127. Bloques localizados en el piedemonte del escarpe producto de antiguas caídas de rocas.

8. AMENAZA PARA EL SUELO URBANO

Para el cálculo de la amenaza del suelo urbano, se utilizó el método heurístico debido a la falta de información básica que facilitara la inclusión de variables morfométricas en la evaluación de la amenaza para la zona urbana.

Siguiendo la metodología propuesta por CORANTIOQUIA – EAFIT (2015^a), se evaluó la susceptibilidad de la zona con las variables condicionantes de geología (Formaciones superficiales) y geomorfología (Subunidades con la variable pendiente), calificando cada unidad con valores de 1 a 9 (con números impares siendo 9 quien más favorece a la ocurrencia de los movimientos en masa) y se le asignó un porcentaje de acuerdo a las importancia en la ocurrencia de los fenómenos, obteniendo que la geomorfología (80%) y formaciones superficiales (20%).

Una vez calculada la susceptibilidad y con las variables detonantes (lluvias y sismo utilizadas para el cálculo de la amenaza rural), se calificó cada variable para el cálculo de la amenaza en función de la calidad y la importación en el desarrollo de los movimientos en masa, obteniendo como resultado: susceptibilidad (80%), detonante lluvia (18%) y detonante sismo (2%)

En ese orden de ideas, la expresión utilizada para la evaluación de la susceptibilidad urbana fue la siguiente (CORANTIOQUIA – EAFIT, 2015^a)

$$AMM = \sum_i^n F_j * V_i$$

Donde:

F_j es la ponderación del factor (Susceptibilidad (80%), detonante lluvia (18%), detonante sismo (2%)).

V_i es el valor obtenido a la variable el cual oscila entre 1 y 9.

Una vez realizados estos cruces, el resultado presenta valores entre 1 y 9, los cuales fueron reclasificados en amenaza baja (valores de 1 a 5), media (5 a 7) y alta (7 a 9). Ya con estos valores se realizaron los mapas de amenazas para la cabecera municipal para los diferentes periodos de retorno (Figura 128), donde se puede observar que para Tr= 25 años hay una gran concentración de amenaza baja pero para los Tr=50 y 100 años se presentan diferencias en toda la zona, debido a que hay un aumento en las áreas de amenaza media, sin embargo se decidió utilizar el mapa de amenazas con un Tr=50, debido a que muestra las condiciones reales de la zona.

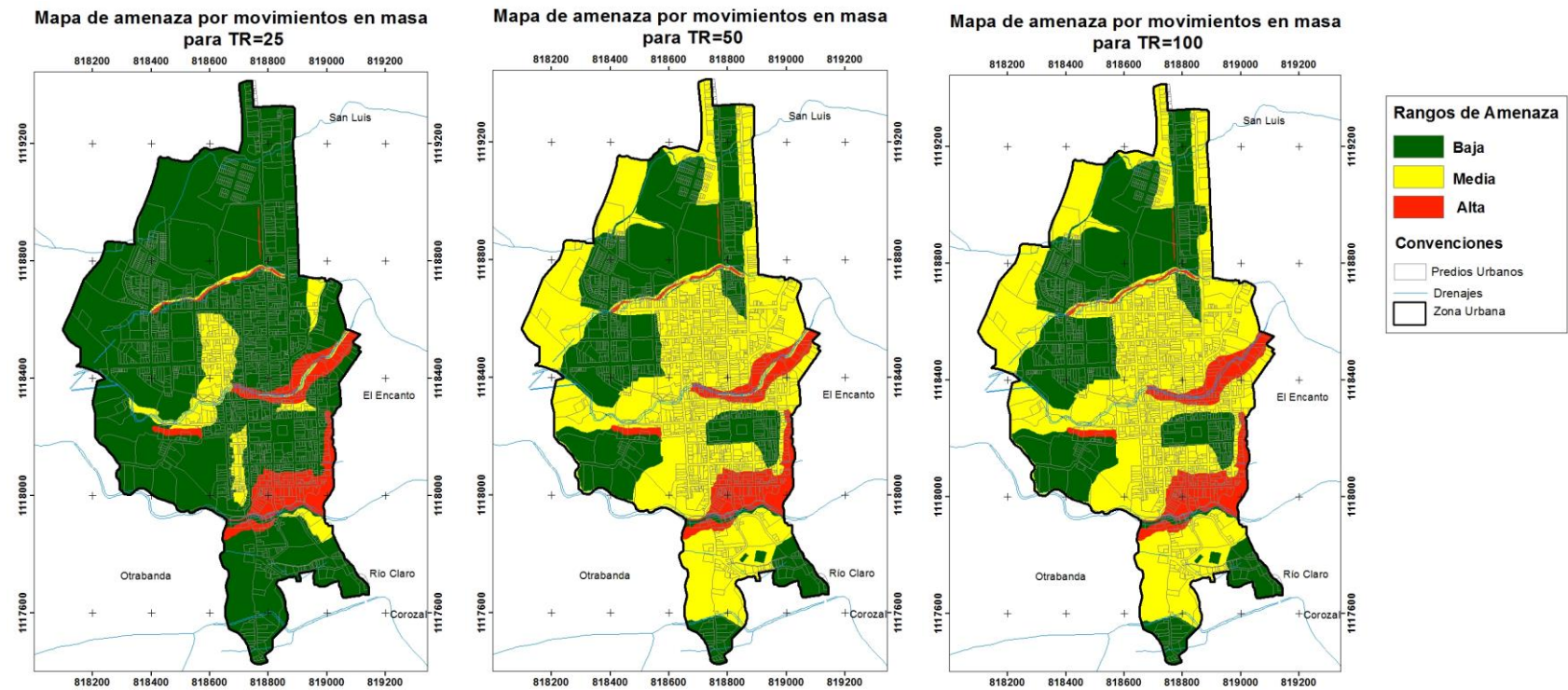


Figura 128. Mapas de amenazas por movimientos en masa para la cabecera municipal de Tamesis para Tr= 25, 50 y 100 años.

En el mapa de amenaza por movimientos en masa de la cabecera municipal de Támesis se presentan las tres categorías de amenaza: Alta, Media y Baja (Figura 129) y el consolidado de las áreas involucradas en cada categoría se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 18. Consolidado de la amenaza por movimientos en masa para la cabecera municipal de Támesis para un $T_r=50$ años.

| Categoría | Total área (ha) | Porcentaje (%) |
|-----------|-----------------|----------------|
| Baja | 41,22 | 38,5 |
| Media | 57,12 | 53,4 |
| Alta | 8,5 | 7,9 |

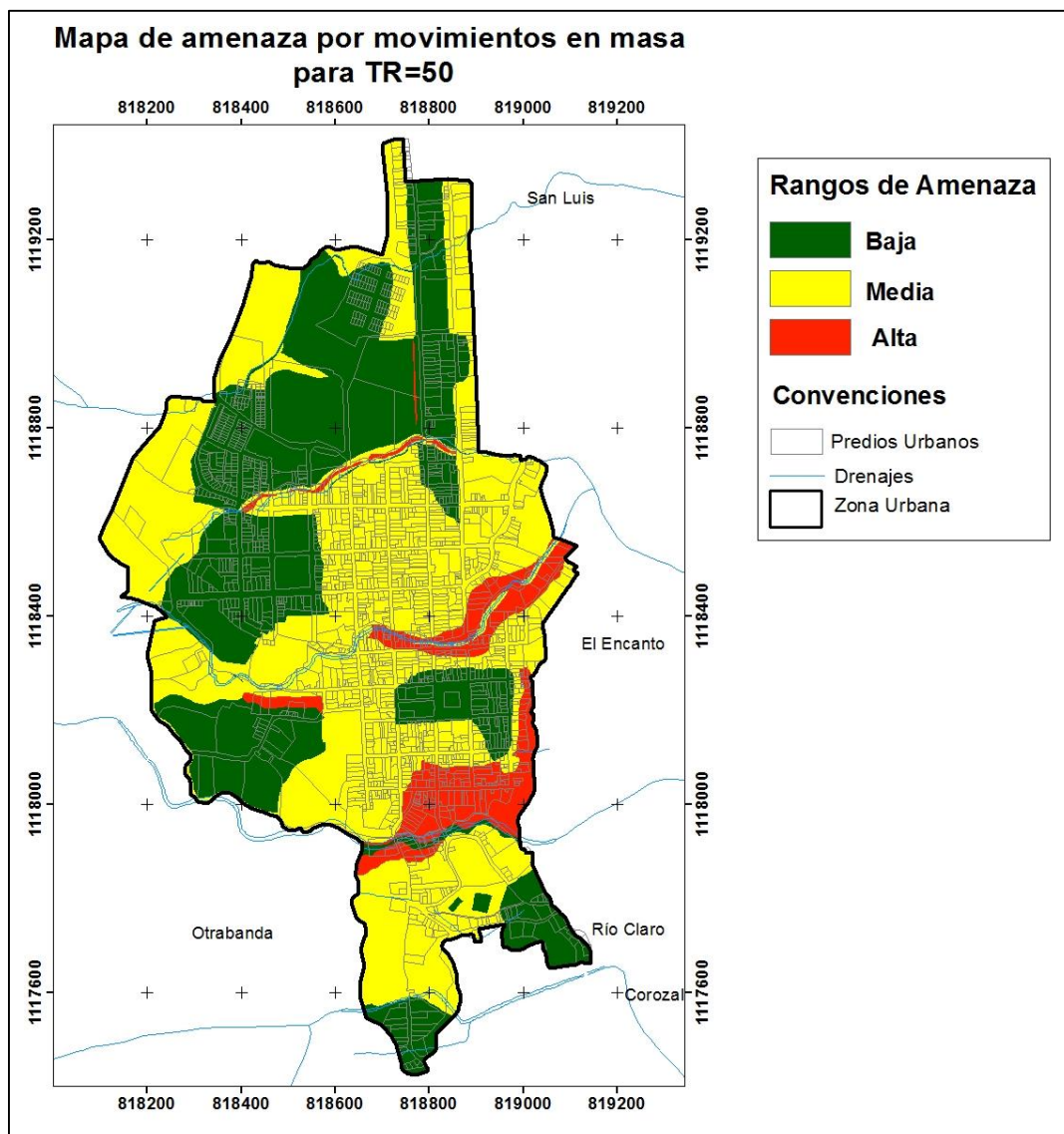


Figura 129. Mapa de amenazas por movimientos en masa para la cabecera municipal de Támesis para $T_r=50$.

8.1. AMENAZA ALTA

Cubre el 7,9 % de la cabecera municipal de Támesis, se localiza como franjas discontinuas en unidades geomorfológicas asociadas a laderas erosivas y escarpes de erosión menor. Estas franjas se identifican al sur de la cabecera municipal en las márgenes del río San Antonio, entre las carreras 11 y 12, y al este de la carrera 8 denominado sector el Hoyo.

En general, estos sectores presentan una susceptibilidad alta que se define en franjas amplias y continuas similar a la amenaza debido a que el aporte de los detonantes al modelo no están controlando la distribución de la amenaza.

8.2. AMENAZA MEDIA

Representa el 53,4% del área de la cabecera municipal. Este rango no se encuentra relacionado con las zonas de amenaza alta; y están asociados a laderas onduladas largas de pendientes moderadas, en laderas abajo de la plaza en el Barrio Santa Ana, y a la margen oeste de la calle 13 en la salida del Municipio en ladera erosiva de pendiente fuerte. Otros sectores donde hay amenaza media en taludes antrópicos en la margen oeste de la carrera 10 cerca al Cementerio de Támesis.

Esta categoría de amenaza es resultado de la interacción de zonas con susceptibilidad media con los detonantes lluvia y sismo constante para toda la cabecera municipal.

8.3. AMENAZA BAJA

Esta categoría abarca el 38,5% de la cabecera municipal, se presenta dispersa en todo el municipio, en el sector La Laguna, Barrio Santa Ana y La Unión, Sector El Estadio, Sector El Contento, El Puente de Boyacá, Sector Cuatro Esquinas y Cristo Rey y la Zona Central. En este rango se reportan valores de susceptibilidad baja con los detonantes lluvia y sismo para todas las áreas el municipio.

9. CONCLUSIONES

- La información obtenida de la revisión secundaria sirvió para hacer una aproximación de las condiciones reales del Municipio, sin embargo, las bases de datos de SIMMA y DESINVENTAR aunque presentan un registro de eventos en el área de estudio, no se encuentran georreferenciados o es discrepante, motivo por el cual, estos eventos no se tuvieron en cuenta para el inventario de procesos en la variable de morfodinámica.
- Los sensores remotos fueron una herramienta fundamental para la identificación y mapeo de los procesos activos e inactivos, en especial las ortofotografías, con las cuales se pudo levantar información a escala 1:10.000 para un trabajo a escala en 1:25.000, y para la zona urbana se contó con la escala planteada de 1:2.000.
- El municipio de Támesis presenta una relación de ocurrencia de movimientos en masa con las condiciones propias del terreno es decir, las variables condicionantes juegan un papel conjunto en el desarrollo de los procesos morfodinámicos, siendo la geomorfología, geología rugosidad y pendientes las de mayor importancia.
- Los tipos de movimientos en masa más frecuentes en el Municipio son los deslizamientos traslacionales generados en suelos con coberturas vegetales de pasto no manejados y bosque nativo, concentrados al sur del municipio en las veredas manzanares, La Betania y Cedeño Alto, en las unidades litológicas del Stock de Támesis y La Formación Combia; y en las zonas de una rugosidad alta y a lomos denudados.
- La base geológica y geomorfológica presente en el EOT (1999) del Municipio es muy general, motivo por el cual se planteó una nueva propuesta de estas variables, utilizando las metodologías anteriormente mencionadas.
- Para el cálculo de la amenaza del suelo rural, inicialmente se tomó el detonante sísmico para el modelo, sin embargo, este no se utilizó porque se concluyó que este no aporta al cálculo dado que no presenta variación dentro del Municipio.
- En el estudio realizado se ha determinado que los métodos Estadístico Bivariado y Heurístico constituyen una metodología eficiente para la elaboración de mapas de amenazas por movimientos en masa, debido a que permiten la manipulación de distintas variables relativas al problema planteado y finalmente la obtención de un resultado satisfactorio en corto tiempo.
- Los mapas de amenazas elaborados por el Método Estadístico Bivariado muestran una información coherente con lo observado durante el trabajo de campo, además se cumplió el objetivo de dividir el municipio en áreas homogéneas de acuerdo al grado real o potencial de la amenaza.

- El mapa de amenaza rural por movimientos en masa tipo deslizamientos indica que el 49,13% del municipio tiene una amenaza baja, el 24,38 % amenaza media y el 26,38% amenaza alta; y aunque muestra una gran dispersión de las áreas homogéneas de amenazas, los deslizamientos presentan una concentración hacia el sur y oeste del Municipio.
- El mapa de amenaza rural por movimientos en masa tipo flujos indica que el 80,12% del municipio tiene una amenaza baja, el 9,88% amenaza media y el 10% amenaza alta, siendo este el fenómeno de mayor concentración, en la zona sur del Municipio, en las veredas Manzanares, La Betania y Cedeño Alto,
- Debido a que en este informe se presentaron los mapas de amenazas para movimientos en masa tipo deslizamiento y flujos por separado, el municipio de Támesis como mapa de zonificación de movimientos en masa, en caso de tomar este estudio como fuente, puede incorporar el mapa flujos con el de deslizamientos, dado que el área afectada por los flujos se localiza dentro del área afectada por deslizamientos.
- Los movimientos en masa generados al sur de Támesis, en la parte alta, aunque se presentan en épocas de lluvias son las condiciones de la zona el principal desencadenante de estos fenómenos, como la pendiente, la geología y la geomorfología.
- Las zonas con amenaza media localizada al oeste de Palermo están asociados a los cortes de carretera y a los nacimientos de las quebradas.
- Como los procesos erosivos y los fenómenos fluviotorrenciales no hacen parte de la clasificación de movimientos en masa, no se tuvieron en cuenta para el modelo. Sin embargo, los procesos erosivos como terracetas o caminos de vacas son frecuentes en las zonas de pendientes moderadas a suaves (desde la cabecera municipal hasta el río Cartama y hacia el oeste en las veredas el Tacón y Río Frío en menos proporción), en usos de suelos para ganadería; en algunos sectores es tan intensa la erosión que se ha perdido la cobertura vegetal dejando descubierto el suelo; y los fenómenos fluviotorrenciales han afectado gran parte del Municipio, registrados en los depósitos presentes en la zona de estudio.
- El mapa de amenazas para la zona urbana del municipio de Támesis, elaborado por el Método Heurístico manifiesta unas condiciones reales a las que vive la cabecera municipal, sin embargo, para este tipo detalle sería mejor hacer estudios determinísticos con análisis geotécnicos, para implementar más variables en la evaluación de la amenaza.
- Para la zonificación de amenazas de la cabecera municipal, la falta de cartografía básica a escala 1:2.000 fue un limitante para la elaboración del mapa de amenazas por movimiento en masa, motivo por el cual no se incluyeron las variables morfométricas para su evaluación.

- La amenaza por movimientos en masa presenta cambio significativos para gran parte de la cabecera municipal, debido a que para el $Tr=25$ el 83,84% del municipio presenta una categoría baja pero para el $Tr=100$ se presenta una disminución de estas áreas aproximadamente el 40% de la cabecera municipal.
- La cabecera municipal de Tamesis presenta una amenaza baja del 83,84% del área construida siendo el rango de mayor ocurrencia, una amenaza media de 6,71% y una amenaza alta de 9,45%. Sin embargo, esto se presenta bajo las condiciones actuales, teniendo presente que estas condiciones pueden variar a través del tiempo por factores antrópicos debido a construcciones más pesadas que puedan afectar las condiciones del suelo o cambio del uso del mismo y a intervenciones erradas en el territorio que pudieran desencadenar movimientos en masa.

10. RECOMENDACIONES

La gestión del riesgo es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible (Ley 1523 de 2012).

De esta manera, para tratar de impedir o evitar que se generen fenómenos de movimientos en masa con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales, se presentan recomendaciones para el uso del suelo.

Obedeciendo a los objetivos de este trabajo se presentan recomendaciones para el uso del suelo y planificación del terreno:

- Identificar zonas con condición de amenaza y riesgo dependiendo de los intereses de desarrollo que presente el Municipio.
- Incluir este estudio dentro de la actualización de Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) y el Plan municipal de gestión de Riesgo del municipio de Támesis.
- Se recomienda la no urbanización de las zonas con amenaza alta reportadas en este estudio o en caso tal de la necesidad de utilizar estas zonas, es necesario hacer estudios de detalles a las zonas más críticas.
- Gran parte de las zonas calificadas como amenaza alta en este estudio se encuentran en el EOT vigente del municipio de Támesis, como zonas de protección y mitigación, por lo cual es importante seguir conservando esos usos para evitar un aumento en la recurrencia de los fenómenos de movimientos en masa, dado que el cambio de uso genera un cambio en la amenaza.
- Garantizar el cierre adecuado de la cantera en la vía Támesis – Río Frío, para evitar la explotación de manera ilegal sin las medidas de seguridad que garanticen la no ocurrencia de movimientos en masa que puedan causar daño a las viviendas inmediatamente localizadas en la parte baja de esta antigua cantera.
- Garantizar las zonas de retiro de las quebradas establecidas en el EOT y concientizar a la población sobre los peligros latentes a los que se encuentran expuesto si no cumplen la normatividad.
- En las zonas rurales y urbanas garantizar los retiros de las quebradas encañonadas, para evitar alguno tipo de afectación o daño por fenómenos de flujos o avenidas torrenciales.

- Para el mantenimiento de las vías que conectan el municipio se recomienda, hacia las zonas del corregimiento de San Pablo y en la vía hacia Río Frío, hacer obras de corrección o prevención en los diferentes taludes que evidencian deterioro, para evitar algún tipo de interrupción en las vías de comunicación por fenómenos de movimiento en masa.
- La vía Támesis – San Pablo, presenta ocurrencia de movimientos en masa, y a lo largo de la vía se definen zonas de amenaza alta por movimientos en masa, motivo por el cual, se recomienda que el establecimiento de viviendas en este tramo estén asociados a estudios de detalle.
- Se recomienda hacer estudios de detalle de torrencialidad para las quebradas del municipio que presentan evidencia de este tipo de fenómenos, tales como Támesis, Derrumbe, Río Claro, entre otras; con el objetivo de revisar la capacidad hidráulica de los puentes y obras de paso sobre fuentes rurales con zonas de amenaza por torrencialidad, de manera que se establezca su afectación ante posibles crecientes y la posibilidad de su mejoramiento. Con el propósito de evitar y prevenir que el corregimiento de San Pablo pierda conectividad con la cabecera municipal de Támesis.

En respuesta a lo observado en este estudio, se sugieren las siguientes recomendaciones para la cabecera urbana del municipio de Támesis en materia de ordenamiento territorial:

- La zona al este del barrio Santa Ana presenta una amenaza media por lo cual se deben dirigir los estudios y construcciones a disminuir la cantidad de pérdidas de agua, haciendo monitoreo adecuados de las redes de acueducto y alcantarillados, para identificar las zonas averiadas.
- Aunque en la zonificación, la zona cerca al estadio municipal presenta un rango de amenaza bajo, se debe tener presente prevenir el fenómeno latente de caídas de roca proveniente del escarpe y restringir el crecimiento urbanístico hasta no hacer estudio de mecánica de rocas a esta unidad.
- El sector El Hoyo, localizado cerca al brazo izquierdo del río San Antonio presenta problemas de movimientos en masa lentos, motivo por lo cual se recomienda hacer estudios de detalle para el reforzamiento estructural o la reubicación de las familias afectada por este fenómeno.
- Revisar el muro de contención de la cancha del hogar juvenil, el cual presenta una leve inclinación, e identificar si es un movimiento activo o solo una inclinación producto del asentamiento de la obra.
- Restringir la construcción de viviendas en zonas de amenaza alta, hasta no hacer estudios de detalle que permitan conocer los requerimientos o lineamientos de las obras que puedan soportar las estructuras sin generar afectación alguna.

- En la zona urbana se recomiendan hacer obras de drenaje de aguas superficiales para realizar un control adecuado de la infiltración, donde que por la falta de estas obras mucha del agua circula libre sobre las calles y se infiltra por las ranuras entre los adoquines saturando el suelo generando movimiento lentos y daños en la red vial.
- Extender la red del alcantarillado hasta las viviendas localizadas en cerca de las quebradas que cruzan el municipio, dado que muchos hogares depositan las aguas residuales en las márgenes de los drenajes generando un saturamiento del suelo.
- Se deben hacer estudios a detalle de torrencialidad en el río San Antonio, debido a que es un fenómeno de posible ocurrencia en la zona.
- Seguir conservando los suelos de expansión urbana hacia el norte de la cabecera municipal.

REFERENCIAS

- ALCALDÍA MUNICIPAL DE TÁMESIS, ANTIOQUIA. 1999. Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT). Diagnostico.
- ALCALDÍA DE TÁMESIS. (2015). Sitio web del municipio de Támesis. 2015, de Támesis Sitio web: <http://www.tamesisantioquia.gov.co/index>
- ARIAS, A. 1995. El relieve de la zona central de Antioquia: un palimpsesto de eventos tectónicos y climáticos. En: Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Vol. 7, No 01; p. 9-24
- CABALLERO, H. 1990. Algunas consideraciones geológicas para la planificación del desarrollo en el Municipio de Támesis. INGEOMINAS. Medellín. 20p
- CARRARA A, CARDINALI M, GUZZETTI F, REICHENBACH P. 1995. GIS technology in mapping landslide hazard. In Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, Carrara A, Guzzetti F. (eds). Kluwer: Dordrecht; 135–176
- CASTAÑO, L. y ZAPATA, J., 1991. Zonificación geotécnica en el casco urbano del municipio de Támesis (Antioquia). Medellín, 176p.
- CEDIEL, F., SHAW, R.P. Y CACERES, C. 2003. Tectonic Assembly of the Northern Andean Block. In: «The Circum-Gulf of Mexico and Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics», C. Bartolini, R.T. Buffler y J. Blickwede, eds. AAPG Memoir, 79, 815 - 848.
- CORANTIOQUIA, Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química, INGEOMINAS. 2002. Mapa geomorfológico, de amenazas y de áreas degradadas de la jurisdicción de CORANTIOQUIA a escala 1:100.000. Informe Final. Medellín. 143 pág.
- CORANTIOQUIA - EAFIT. 2015^a. Convenio 1502-6. Aunar esfuerzos para realizar los estudios básicos para la delimitación de amenazas naturales y zonificación de áreas con condición de amenaza y riesgo a partir de investigación aplicada en once municipios de la jurisdicción de CORANTIOQUIA.
- CORANTIOQUIA - EAFIT. 2015^b. Convenio 1505-69. Aunar esfuerzos para la actualización del mapa de amenazas 1:100.000 para veintinueve municipios de oficinas territoriales Cartama, Citará, Aburrá sur y Hevéxicos (parcial), jurisdicción de CORANTIOQUIA.
- CRUDEN, D. M., 1991, A Simple definition of a landslide: Bulletin of the International Association of Engineering Geology, v. 43, p. 27–29.

- CRUDEN D.M.; VARNES D. J. 1996. Landslide types and processes. In: Turner A.K.; Shuster R.L. (ed.). Landslides: Investigation and Mitigation. Transp. Res. Board, Special Report 247, 36–75.
- DECRETO 1807. Diario Oficial 49279 de septiembre 19 de 2014
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, 1992. Estudio de zonificación y uso potencial de los suelos del suroeste antioqueño. Bogotá, 453p.
- FELL, R.; COROMINAS, J.; BONNARD, C.; CASCINI, L.; LEROI, E.; SAVAGE, W. 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning, on behalf of the JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes. Engineering Geology, 102:85 –98.
- GONZÁLEZ, H. Y LONDOÑO, A. 2002. Diorita de Támesis. Catálogo de las unidades litoestratigráficas de Colombia. INGEOMINAS, 13p.
- GONZALEZ, 1980. Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 168 (Salamina), Boletín Geológico INGEOMINAS 23. 174p.
- GONZÁLEZ, H. 1976. Geología del Cuadrángulo 3-8, Sonsón. Inst. Nal. De Inv. Geológico Mineras. Inf. no. 1704.
- GONZALEZ, H. 2001. Mapa geológico del departamento de Antioquia. Escala 1:400.000; Medellín, INGEOMINAS, 240 p.
- GROSSE, E., 1926. El Terciario Carbonífero de Antioquia Ed. Reimer. Berlín. 361 p.
- INGEOMINAS, 1980^a. Geología de la Plancha 166, Jericó. Mapa escala 1:100.000. Medellín.
- INGEOMINAS, 1980^b. Geología de la Plancha 186, Riosucio. Mapa escala 1:100.000: Medellín.
- INGEOMINAS, 1980^c. Geología y Geoquímica de la Plancha 166, Jericó. Informe No. 1822: Medellín, INGEOMINAS, 232 p
- INGEOMINAS, 1982. Geología y Geoquímica de la Plancha 186, Riosucio. Informe No. 1878: Medellín, INGEOMINAS, 46p
- INGEOMINAS - UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. 2010. Mapa Nacional de Amenaza Sísmica, período de retorno 475 años. Escala 1:1'500.000, Bogotá D.C.
- LEY N° 1523. Diario Oficial 48411 de abril 24 de 2012.

- PAGE, W. D. & JAMES, M. E. 1981. The antiquity of the erosion surfaces and late Cenozoic deposits near Medellín, Colombia: Implications to tectonics and erosion rates. *Revista CIAF Vol.*, 6 (1-3), 421 – 454. Bogotá
- PEREIRA, S., ZEZE, JL., BATEIRA, C. 2012. Technical Note: Assessing predictive capacity and conditional independence of landslide predisposing factors for shallow landslide susceptibility models. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 979–988.
- PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO - GEOCIENCIAS Para Las COMUNIDADES ANDINAS (PMA-GCA). 2007. Movimientos en masa en la región andina, una guía para la evaluación de amenazas. 432 p.
- RAMÍREZ, S., LÓPEZ, C., SIERRA, G., TORO, G. (2006). Edad y proveniencia de las rocas volcánico sedimentarias de la formación Combia en el suroccidente Antioqueño, Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra - Número 19*, Noviembre de 2006 Medellín ISSN 0120 3630.
- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (SGC). 2012. Propuestas sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá, D.C. 88 p.
- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (SGC). 2013. Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa Esc. 1:100.000. Bogotá D.C., 135p.
- SIERRA, G. M. AND MARÍN-CERÓN, M. I., 2011. Amagá, Cauca Patía Basin. In *Petroleum Geology of Colombia*. Editor. Fabio Cediel. Vol (2) Fondo Editorial Universidad EAFIT, 104
- SIERRA, G., SILVA, J. C. Y CORREA, L. G., 2001. Estratigrafía Secuencial de la Formación Amagá. *Boletín Ciencias de la Tierra # 15*, 9-22p. Medellín.
- SILVA, J.C., SIERRA, G., Y CORREA, L.G., 2008. Tectonic and climate fluctuations in the stratigraphic base level of Cenozoic continental coal basin, northwestern Andes. *Journal of South American Earth Sciences*. 26. 369-382p.
- SOETERS, R. AND VAN WESTEN, C.J. 1996. Slope instability recognition, analysis, and zonation. In: *Landslides, investigation and mitigation / ed. by. A.K. Turner and R.L. Schuster*. Washington, D.C. National Academy Press, 1996. ISBN 0-309-06151-2. (Transportation Research Board, National Research Council, Special Report; 247) pp. 129 – 177.
- TASSINARI, C., DÍAS, F., & BUENA VENTURA, J., 2007. Age and sources of gold mineralization in the Marmato mining district, NW Colombia: A

Miocene-Pliocene epizonal gold deposit, Ore Geology Review, 33, 505–518.

VAN DER HAMMEN, T., 1958. Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano y Tectogénesis de los Andes Colombianos. Bol. Geol. Bogotá. 1-15p.

VAN WESTEN, C., 1997. Statistical landslide hazard analysis. ILWIS 2.1 for Windows application guide. Enschede, The Netherlands, ITC Publication N. 15: 73-84.

VAN WESTEN, C.J., RENGERS, N. AND SOETERS, R. 2003. Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. In: Natural hazards: journal of the international society for the prevention and mitigation of natural hazards, 30 (2003)3 pp. 399-419.

VAN WESTEN, C.J., VAN ASCH, TH.W.J. AND SOETERS, R. 2006. Landslide hazard and risk zonation: why is it still so difficult?. In: Bulletin of engineering geology and the environment IAEG, 65 (2006) 2 pp. 167-184.

VARNES, D.J. 1984. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. Natural Hazards, 3: 63. UNESCO, Paris.

VARNES, D. J. 1978, Slope movements types and processes. En: SCHUSTER R.L., y KRIZEK R.J. (ed.). Landslides analysis and control: National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176: 9 - 33. Washington D.C.

ANEXO 1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

En la tabla 1 se presenta la información bibliográfica obtenida de los diferentes entidades locales y regionales

Tabla 19. Recopilación de información bibliográfica del municipio de Támesis.

| TÍTULO | AÑO | DESCRIPCIÓN | FUENTE |
|--|------|--|-----------|
| ALGUNAS CONSIDERACIONES GEOLÓGICAS PARA LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO EN EL MUNICIPIO DE TÁMESIS - DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA | 1990 | Este documento trata aspectos generales relacionados con la amenaza geológica, diagnosticando las amenazas geológicas y potenciales que se puedan presentar en el casco urbano del municipio. Se estudiaron a profundidad las áreas del casco urbano cruzadas por corrientes, con fin de conocer su potencialidad a ser afectadas por avenidas torrenciales. | SICAT/SGC |
| ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE TÁMESIS | 1991 | <p>Mayo de 1965: Flujo de lodo y sobre la zona de La Virgen (camino hacia la vereda El Guayabo), en el escarpe montañoso al costado occidental del poblado.</p> <p>Octubre de 1971: Hundimientos y deslizamientos en el sector del matadero municipal y carrera Caldas.</p> <p>Noviembre de 1979: Daños causados por el terremoto asociados a movimientos en masa: desprendimientos de bloques de la zona del Pico El Salvador.</p> <p>Mayo de 1999: Se presentó una avenida aluvio-torrencial del río San Antonio en el sector El Contento con socavamiento lateral del cauce y desprendimiento de una parte del talud.</p> | CIA |
| PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO FRÍO | 2005 | <p>Amenaza alta por caída de roca en las veredas San Luis y La Alacena</p> <p>Amenaza media por reptación en la vereda Río Frío.</p> <p>Amenaza media por procesos de remoción en masa y procesos erosivos en las veredas San Antonio y El Tacón.</p> | CIA |

| | | | |
|--|------|---|---------------------|
| | | Amenaza media por procesos erosivos superficiales en las veredas La Mesa, El Tabor, San Isidro, El Líbano y Pescadero. | |
| PLAN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES | 2006 | Se planea escenarios de riesgos por movimientos en masa para cada una de las veredas, los corregimientos y la cabecera municipal de Támesis. | Alcaldía de Támesis |
| ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE TÁMESIS | 1999 | Mapas de geomorfología, suelos, usos del suelo y amenazas por movimientos en masa para el área rural, sin actualización a la fecha (Ver figuras 1 A 4). | Alcaldía de Támesis |

Las figuras 1 a 4 muestra los mapas geomorfológicos, suelos, usos del suelo y amenazas por movimientos en masa para el municipio de Támesis, respectivamente presentes en el EOT de 1999.

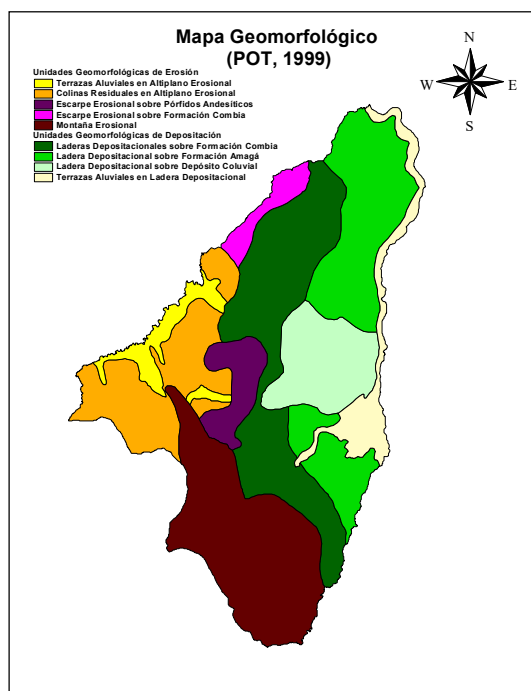


Figura 130. Mapa geomorfológico para Támesis (EOT, 1999)

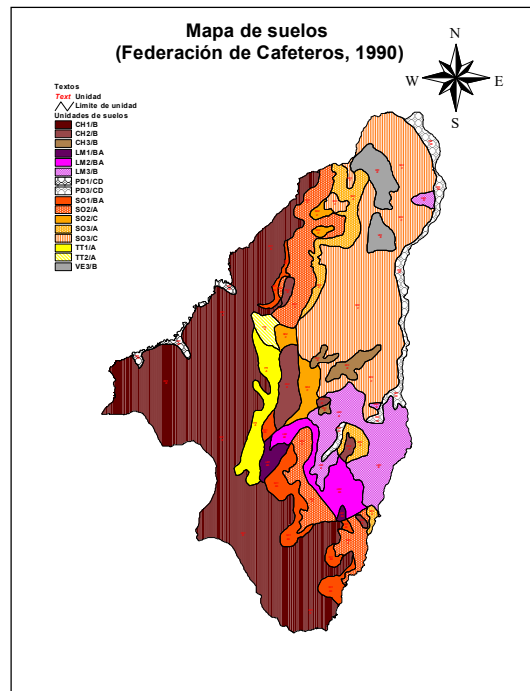


Figura 131. Mapa de suelos para Tamesis (EOT, 1999)

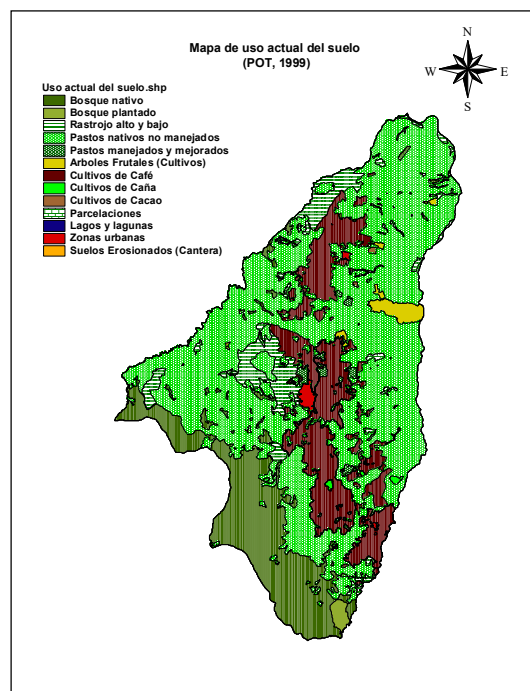


Figura 132. Mapa de usos del suelos para Tamesis (EOT, 1999)

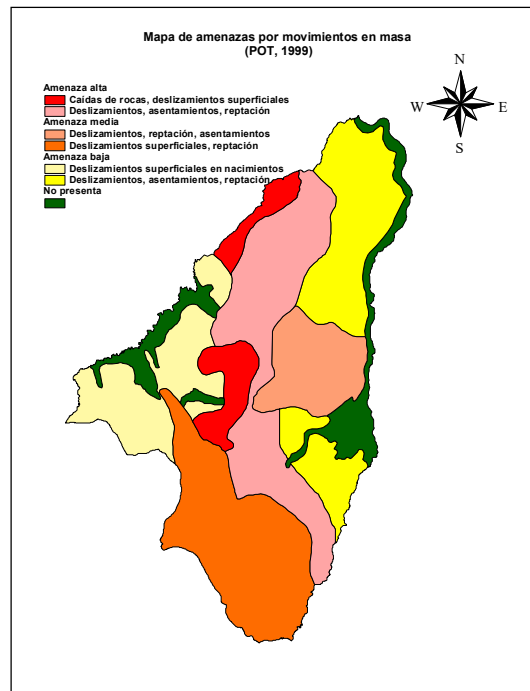


Figura 133. Mapa de amenazas por movimientos en masa para Támesis (EOT, 1999)

En la tabla 2 se presenta la información descargada de la base de datos DESINVENTAR del municipio de Támesis.

Tabla 20. Recopilación de eventos de la base de datos DESINVENTAR del municipio de Támesis.

| EVENTO | FECHA | LOCALIZACIÓN | FUENTE |
|---------------|------------|---|-------------|
| Deslizamiento | 18/07/1996 | Vereda San Antonio | DESINVENTAR |
| | 21/09/1996 | Sector Cuatro Esquinas | |
| | 30/07/1998 | Sector El Hoyo | |
| | 15/03/2008 | La Planta | |
| | 15/03/2008 | Zona Urbana | |
| | 30/04/2008 | Vereda La Florida | |
| | 01/05/2008 | Manzanares. Corregimiento San Pablo | |
| | 20/05/2008 | La Planta | |
| | 20/05/2008 | Zona Urbana | |
| | 15/06/2008 | La Alacena El Tabor | |
| | 15/07/2008 | Veredas Piedra Moler La Argentina | |
| | 29/07/2008 | Cedeño Alto | |
| | 07/10/2008 | Corregimiento Palermo Sector Cementerio | |

En la tabla 3 se presenta la información descargada de la base de datos SIMMA del municipio de Támesis.

Tabla 21. Recopilación de eventos de la base de datos SIMMA del municipio de Támesis.

| Código | Latitud | Longitud | Tipo | Subtipo | Fecha del evento |
|--------|------------|-------------|-----------------------------|-------------------------|------------------|
| 6818 | 5,727208 | -75,7485682 | Flujo | Flujo sin clasificación | 25/05/1950 |
| 6819 | 5,70175154 | -75,7307797 | Flujo | Flujo sin clasificación | 16/01/1971 |
| 1893 | 5,66631262 | -75,7129648 | Flujo | Flujo sin clasificación | 23/08/1971 |
| 10663 | 5,67632527 | -75,7019217 | Movimiento en masa catálogo | Deslizamiento | 07/10/1974 |
| 12339 | 5,70626972 | -75,7020057 | Movimiento en masa catálogo | Deslizamiento | 29/12/1979 |
| 3078 | 5,68957113 | -75,724102 | Movimiento en masa catálogo | Deslizamiento | 11/12/1990 |
| 1895 | 5,68296399 | -75,707476 | Flujo | Flujo sin clasificación | 12/01/1993 |
| 3980 | 5,68409487 | -75,6997291 | Movimiento en masa catálogo | Deslizamiento | 21/09/1996 |
| 4622 | 5,67848702 | -75,7218562 | Movimiento en masa catálogo | Deslizamiento | 10/03/1999 |
| 6820 | 5,68847156 | -75,7207774 | Movimiento en masa catálogo | Deslizamiento | 17/08/2007 |
| 8929 | 5,69409503 | -75,6931141 | Movimiento en masa catálogo | Deslizamiento | 17/08/2007 |
| 9300 | 5,68402276 | -75,7251933 | Movimiento en masa catálogo | Deslizamiento | 22/02/2008 |
| 6821 | 5,6796212 | -75,7130023 | Movimiento en masa catálogo | Deslizamiento | 22/02/2008 |
| 6822 | 5,69294858 | -75,706397 | Movimiento en masa catálogo | Deslizamiento | 29/05/2008 |
| 9682 | 5,67630344 | -75,7096716 | Movimiento en masa catálogo | Deslizamiento | 29/05/2008 |
| 6823 | 5,70400448 | -75,7186072 | Caída | Caída de roca | 03/09/2008 |
| 10050 | * | * | Movimiento en masa catálogo | Deslizamiento | 04/09/2008 |
| 15984 | 5,66416667 | -75,7125 | Movimiento en masa catálogo | Deslizamiento | 10/07/2010 |